

**CRISTINA AKEMI MOGAMI**

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES DIETAS NAS CARACTERÍSTICAS  
DOS DEJETOS DE CABRAS LEITEIRAS COM VISTAS À  
PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2005**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M696i  
2005

Mogami, Cristina Akemi, 1976-

Influência de diferentes dietas nas características dos  
dejetos de cabras leiteiras com vistas à produção de biogás  
/ Cristina Akemi Mogami. – Viçosa : UFV, 2005.  
xiv, 48f. : il. ; 29cm.

Orientador: Cecília de Fátima Souza.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 45-48.

1. Biogás. 2. Resíduos como combustível. 3. Digestão  
anaeróbica. 4. Cabras - Alimentação e rações. I. Universi-  
dade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 665.776

**CRISTINA AKEMI MOGAMI**

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES DIETAS NAS  
CARACTERÍSTICAS DOS DEJETOS DE CABRAS LEITEIRAS  
COM VISTAS À PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de "*Magister Scientiae*".

**Aprovada: 02 de agosto de 2005.**

---

**Prof. Paulo César Hardoim**

---

**Prof. Fernando da Costa Baeta**

---

**Prof<sup>a</sup>. Ilda de Fátima Ferreira Tinoco  
(Conselheira)**

---

**Prof. Jadir Nogueira da Silva  
(Conselheiro)**

---

**Prof<sup>a</sup>. Cecília de Fátima Souza  
(Orientadora)**

A Deus,  
Aos meus pais e aos meus amigos.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização deste trabalho.

À Professora Cecília de Fátima Souza, pela orientação, apoio e atenção sempre.

À Professora Ilda de Fátima Ferreira Tinôco e aos Professores Jadir Nogueira da Silva, Paulo César Haridoim, Fernando da Costa Baêta, Paulo Roberto Cecon, Marcelo Teixeira Rodrigues (Departamento de Zootecnia) e Prof. José Helvécio Martins pelo incentivo e pelas sugestões que contribuíram para a melhoria deste trabalho.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

À minha família, pelo exemplo de conduta e pela formação do meu caráter.

À minha segunda família: Flavinha, Bianca e turma dos 500 anos no grau, amigos que mesmo à distância estiveram sempre presentes.

Aos amigos do AMBIAGRO, por proporcionar um ambiente de trabalho com companheirismo e apoio em todos os momentos de dificuldades e alegrias.

À Elizangela Emídio Cunha e Marcelo Bastos Cordeiro, amigos zootecnistas sem os quais não estaria aqui.

Aos meus queridos estagiários: Carlos André, Peçanha, Vivian e Viotti pela responsabilidade, compromisso e apoio nos momentos mais difíceis durante o experimento. Ao Henrique, pela presença na segunda fase do experimento.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, Bombeiros, Setor de Caprinocultura, Química, Solos. Em especial, aos funcionários Galinari e Rui pela atenção e extraordinária disposição em ajudar.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

CRISTINA AKEMI MOGAMI, filha de Teruo Mogami e Tomika Nakamura Mogami, nasceu em Ipatinga, Minas Gerais, em 31 de maio de 1976.

Em março de 1995, iniciou o Curso de Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, diplomando-se em outubro de 2000.

Em 2001 atuou como docente na Escola Estadual de Ensino Médio Maria Ortiz. Neste mesmo ano iniciou o Curso de Especialização em Gestão Ambiental na Universidade Federal de Espírito Santo (UFES), concluindo-o em julho de 2002.

Em julho de 2003, ingressou no Programa de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de Construções Rurais e Ambiente, concluindo-o em julho de 2005 e iniciando o doutorado na mesma área.

## RESUMO

MOGAMI, Cristina Akemi, M.S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2005. **Influência de diferentes dietas nas características dos dejetos de cabras leiteiras com vistas à produção de biogás.** Orientadora: Cecília de Fátima Souza. Conselheiros: Ilda de Fátima Ferreira Tinoco, Jadir Nogueira da Silva e Marcelo Teixeira Rodrigues.

A decomposição do material orgânico por meio da biodigestão anaeróbia é diferenciada segundo suas características físicas, químicas e biológicas, resultantes da composição da dieta e do tipo de manejo de dejetos, o que influencia na composição do biogás. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar o processo de biodigestão anaeróbia de dejetos de cabras leiteiras alimentadas com diferentes dietas visando definir a influência da alimentação no biogás produzido. O experimento foi conduzido no galpão experimental do Setor de Caprinocultura e no Laboratório de Construções Rurais da Universidade Federal de Viçosa, durante quatro meses (de março a julho de 2005). Foram utilizadas 12 cabras adultas não-lactantes, das raças Saanen e Parda Alpina, com peso médio entre 50 e 60 kg. Foi feita caracterização do ambiente térmico no interior e no exterior do galpão, com base em índices térmicos. O experimento foi dividido em duas fases: 1) caracterização dos dejetos de cabras leiteiras alimentadas com três tipos de dietas e; 2) determinação do potencial de produção de biogás desses dejetos. No ensaio de biodigestão foram utilizados 9 biodigestores com volume total de 3,1 L em escala laboratorial operando em batelada, sendo três para cada dieta (capim Napier, feno de Tifton 85 e silagem de milho), com 3 repetições,

instalados dentro de uma caixa de fibrocimento com água aquecida à 30°C. Foram feitas análises da concentração de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) das amostras de dejetos utilizados no abastecimento (afluente) e no desabastecimento (efluente) dos biodigestores e também do biogás produzido. A determinação dos teores de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do biogás foi realizada semanalmente em cromatógrafo a gás modelo Shimadzu 14B. Houve diferença significativa (P<0,05) nas características dos dejetos de acordo os diferentes tipos de dietas. Os animais que consumiram as dietas a base de feno e silagem produziram mais urina e mais fezes, sendo estas com maior concentração de sólidos voláteis. Os resultados indicaram diferenças significativas (P<0,05) entre as reduções nos teores de sólidos voláteis dos três tipos de substratos. Os substratos gerados com os dejetos das cabras alimentadas com a dieta composta por silagem apresentaram redução de sólidos voláteis superior (43,65 %) àqueles das cabras alimentadas com dieta composta por feno (39,13 %) e capim (24,91 %), respectivamente. No entanto, o potencial de produção de biogás referente à dieta composta por silagem foi de 0,0230 m<sup>3</sup>/kg de sólidos totais adicionados, sendo inferior àquelas a base de capim (0,0284 m<sup>3</sup>/kg) e feno (0,0260 m<sup>3</sup>/kg). A concentração semanal de metano teve valor mínimo de 61,80% na primeira semana de observação, para a dieta composta por capim, e valor máximo de 88,15% na quarta semana, para a dieta a base de silagem.

## ABSTRACT

MOGAMI, Cristina Akemi, M.S., Universidade Federal de Viçosa, august 2005.  
**Influence of different diets in the characteristics of the residues lactates goats seeking the biogas production.** Adviser: Cecília de Fátima Souza. Committee members: Ilda de Fátima Ferreira Tinoco, Jadir Nogueira da Silva and Marcelo Teixeira Rodrigues.

The decomposition of the organic material by anaerobic bio-digestion differs itself according its physic, chemistry and biologic characteristics – resulted of the composition of the diet and of the type of residue's handling – that influences biogas composition. Thus, the object of this work was to analyze the process of the anaerobic bio-digestion of residues of lactates goats fed with different diets, aiming for defining the influence of the food on produced biogas. The test was conducted in the experimental porch of the Caprinocultura sector, and in the Laboratory of Rural Constructions of the University Federal of Viçosa, during four months (March to July of 2005). It was utilized 12 adults' goats that didn't produce milk, breeds Saanen and Alpine, with average weight of 50 to 60 kg. It was done a characterization of the thermal environment inside and outside of the porch, based on thermal indices. The test was divided into two phases: characterization of the residues of goats fed with three kinds of diet and determination of the potential of biogas to produce residues. In the essay of bio-digestion it was used 9 bio-digesters with total volume of 3,1 L in laboratorial scale operating in large quantity, being three for each diet (Napier grass, Tifton 85 hay and maize silage), with three replications, installed inside of a box of

fiber cement with heated water at temperature of 30°C. It was done analysis of the concentration of the total and volatile solids of the residues' patterns used in the supply (affluent) and in the effluents of the bio-digesters and also of the bio-gas produced. The determination of the contents of methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) of the bio-gas was realized weekly using a gas chromatograph Shimadzu 14B. There was a significant difference (P<0.05) in the characteristics of the residues according to the different types of feeding. The animals, which consumed hay and silage, produced much more urine and excrements with larger concentration of volatile solids. The result pointed significant differences (P<0.05) among the reductions in the contents of volatile solids of the three types of substrates. The substrates produced with residues of the nanny-goats fed with silage presented reduction of superior volatile solids (43.65 %) as compared to the ones fed with hay (39.13 %) plus grass (24.91 %), respectively. However, the potential production of biogas (silage) was 0.0230 m<sup>3</sup>/kg of total solids, less than that composed by grass (0.0284 m<sup>3</sup>/kg) and hay (0.0260 m<sup>3</sup>/kg). The weekly concentration of methane had minimum value (61.80%) in the first week of observation (diet composed by grass) and maximum value (88.15%) in the fourth week (diet composed by silage).

## ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 A caprinocultura de leite no Brasil.....	4
2.2 O manejo de dejetos no sistema de produção de leite de cabra....	5
2.3 Características dos dejetos de caprinos.....	6
2.3.1 A influência da alimentação nas características dos dejetos.....	8
2.3.1.1 Efeitos do ambiente sobre a ingestão de alimento.....	8
2.4 O processo de biodigestão anaeróbia.....	10
2.4.1 A importância do substrato no processo de biodigestão.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Área experimental .....	15
3.2 Período experimental.....	15
3.3 Galpão experimental .....	15
3.4 Animais.....	16
3.5 Ambiente térmico.....	16
3.5.1 Cálculo dos índices térmicos ambientais.....	17
3.5.1.1 Umidade relativa (UR).....	17
3.5.1.2 Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU).....	17
3.5.1.3 Carga térmica radiante (CTR).....	18
3.6 Avaliação das respostas animais.....	18

3.6.1 Temperatura Retal (TR).....	18
3.6.2 Consumo Alimentar (CA).....	19
3.7 Dietas.....	19
3.8 Manejo alimentar.....	20
3.9 Coleta de dejetos.....	20
3.10 Ensaio de biodigestão anaeróbia.....	22
3.10.1 Sistema de biodigestão.....	22
3.11 Monitoramento do processo de biodigestão anaeróbia.....	24
3.11.1 Teores de sólidos totais e voláteis.....	24
3.11.2 Composição do substrato.....	25
3.12 Determinação do volume de biogás.....	26
3.13 Potencial de produção de biogás.....	27
3.14 Análise da composição do biogás produzido.....	27
3.15 Análise estatística.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1 Caracterização do ambiente térmico.....	29
4.1.1 Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU).....	29
4.1.2 Carga térmica de radiação (CTR).....	30
4.1.3 Umidade Relativa do ar (UR).....	31
4.2 Avaliação das respostas dos animais.....	31
4.2.1 Temperatura retal.....	31
4.2.2 Consumo alimentar.....	32
4.2.2.1 Análise das dietas.....	33
4.3 Caracterização dos dejetos produzidos.....	34
4.3.1 Produção de fezes.....	34

4.3.2 Caracterização dos dejetos.....	35
4.3.3 Produção de urina.....	36
4.4 Ensaio de biodigestão anaeróbia.....	38
4.4.1 Teores de sólidos totais e voláteis.....	38
4.4.2 Produção volumétrica de biogás .....	39
4.4.3 Potencial de produção de biogás.....	41
4.4.4 Composição do biogás produzido.....	42
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	45

**LISTA DE TABELAS**

Tabela	Página
1 - Composição dos dejetos produzidos por cabras estabuladas e em pastoreio.	7
2 - Composição do concentrado fornecido às cabras durante o período experimental.	20
3 - Valores de diluição usados para abastecimento dos biodigestores.	25
4 - Temperatura retal das cabras submetidas às três dietas (capim, silagem e feno) durante o período experimental.	32
5 - Consumo médio diário das cabras em termos de matéria natural (MN) e de matéria seca (MS).	33
6 - Composição bromatológica dos volumosos.	33
7 - Produção diária de fezes por cabra, em gramas de matéria natural (MN) e de matéria seca (MS), e de matéria seca excretada por grama de matéria seca ingerida, em função das dietas oferecidas.	34
8 - Concentrações de sólidos totais (ST), umidade (%), sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF) das fezes de cabras.	35
9 - Produção diária de urina por animal, em mL, para as diferentes dietas (capim, feno e silagem).	37
10 - Teores de sólidos totais, voláteis e redução de SV, em porcentagem, para estrumes obtidos com diferentes tipos de dietas.	38
11 - Produção volumétrica média diária de biogás (dm <sup>3</sup> /dia) a partir de substrato formulado com dejetos de cabras, alimentadas com três tipos de volumosos (capim, feno e silagem).	39
12 - Potencial de produção de biogás dos substratos formulados com dejetos de cabras, alimentadas com três tipos de volumosos (capim, feno e silagem).	41
13 - Concentração semanal de metano (CH <sub>4</sub> ) e dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) no biogás produzido do substrato das três dietas oferecidas às cabras.	42

**LISTA DE FIGURAS**

Figura	Página
1 - Disposição dos sensores no galpão. No interior de uma das baias de cada tratamento (a); No interior de uma baia e no corredor (b).	16
2 - Disposição e identificação dos grupos no galpão, de acordo com a dieta.	19
3 - Gaiola metabólica individual.	21
4 - Sistema coletor de dejetos adaptado nas gaiolas metabólicas.	21
5 - Vista superior dos biodigestores conectados aos seus respectivos gasômetros.	22
6 - Esquema de funcionamento dos biodigestores experimentais.	23
7 - Esquema dos gasômetros. Vista externa dos gasômetros (a). Régua graduada para a leitura do gasômetro (b).	23
8 - Conexão e grampo metálico, adaptados nos pontos de amostragem do biogás na mangueira de silicone.	24
9 - Valores médios observados do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), em função dos horários de observação, para as diferentes dietas (capim, feno e silagem) e para o ambiente externo ao galpão, durante o período experimental.	29
10 - Valores médios observados da carga térmica de radiação (CTR) em $W.m^{-2}$ , em função da hora do dia, para as diferentes dietas (capim, feno e silagem) e para o ambiente externo ao galpão, durante o período experimental.	30
11 - Valores médios observados da umidade relativa (UR), em porcentagem, em função da hora do dia, para as diferentes dietas (capim, feno e silagem) e para o ambiente externo ao galpão, durante o período experimental.	31
12 - Produção de urina das cabras durante o período experimental para as diferentes dietas (capim, feno e silagem).	37

- 13 - Produção volumétrica média diária de biogás ( $\text{dm}^3/\text{dia}$ ) a partir de substrato formulado com dejetos de cabras alimentadas com três tipos de volumosos (capim, feno e silagem), durante o período experimental. 39
- 14 - Produção acumulada de biogás (em %) a partir de substrato formulado com dejetos de cabras, alimentadas com três tipos de volumosos (capim, feno e silagem). 40
- 15 - Concentrações médias de metano (%) a partir de substrato formulado com dejetos de cabras alimentadas com três tipos de volumosos (capim, feno e silagem). 43

## 1. INTRODUÇÃO

A agropecuária moderna vem se desenvolvendo buscando atender à crescente demanda pela produção de alimentos de origem animal (leite, carne, ovos), principalmente nos países em desenvolvimento. Segundo a FAO (2000), espera-se que a procura por produtos de origem animal nos países em desenvolvimento duplique nas próximas duas décadas.

Este crescimento ocasiona o aumento da geração de resíduos que, quando tratados e dispostos de forma inadequada, causam a poluição em nível local e regional. A poluição, neste caso, refere-se não somente aos possíveis danos ao ambiente, os chamados impactos ambientais, como também àqueles causados à saúde dos animais e dos trabalhadores, decorrentes dos gases provenientes da decomposição dos dejetos. Estes podem causar queda no desempenho produtivo dos animais e, conseqüentemente, prejuízos econômicos.

A situação é agravada nos sistemas intensivos de produção animal, caracterizados pela elevada concentração de animais por área de instalação. O acúmulo de dejetos neste tipo de sistema dificulta o manejo e disposição correta no ambiente. E, quanto mais intensificado o sistema produtivo, mais complexa torna-se a gestão de resíduos.

Apesar de não ser um animal de grande porte como os bovinos e de não ter produção de dejetos tão representativa como a dos suínos, as cabras leiteiras criadas no sistema intensivo geram resíduos que, se não manejados adequadamente, podem ocasionar sérios prejuízos econômicos e ambientais.

Medicamentos, suplementos alimentares e aditivos nas rações muitas vezes são ministrados em doses maiores que o necessário, sendo o excesso eliminado nas fezes, constituindo-se em foco adicional de poluição ambiental. Além disso, o uso do esterco sem o conhecimento prévio de sua composição, em termos de N, P e C, pode reduzir sua ação como adubo orgânico.

Segundo levantamento realizado pela FAO (1998), a população mundial de caprinos é de aproximadamente 700 milhões de cabeças, e cerca de 92% destes estão distribuídos nas regiões em desenvolvimento, tropicais e subtropicais.

No Brasil, predomina a produção de caprinos sobre piso ripado, onde o manejo de dejetos é feito, na maioria das vezes, retirando-se periodicamente o material acumulado sob o piso e dispondo-o diretamente no ambiente. Em várias propriedades,

muitas vezes o esterco é deixado amontoado em áreas próximas ao estábulo, perdendo boa parte de suas características fertilizantes e atraindo moscas (RIBEIRO, 1998).

Deve-se ressaltar que o estágio atual de degradação do meio ambiente no Brasil é resultante da evolução histórica de políticas que tardaram por defendê-lo e preservá-lo. Apenas em 1988, através da Constituição da República Federativa do Brasil, é que o Direito do Meio Ambiente foi declarado como norma federal, em seu artigo 225, capítulo VI.

Os avanços na legislação ambiental e o uso de tecnologias conservacionistas exigido pelos cidadãos implicam necessidade de desenvolvimento da gestão de resíduos. Sendo assim, as atuais exigências ambientais e dos consumidores podem ser satisfeitas visando à utilização eficaz dos resíduos agropecuários e à geração de renda para a população agrícola crescente. Neste sentido, as produções de alimento e de energia devem ser consideradas conjuntamente, compondo um sistema ecologicamente compatível (SOUZA, 2001).

Neste contexto, o manejo de resíduos tem como objetivo o aproveitamento do potencial contido em sua biomassa e conseqüente minimização do impacto ambiental, agregando valor ao sistema produtivo por meio da reciclagem energética e de nutrientes (LUCAS JR., 1994).

A biodigestão anaeróbia apresenta-se como uma tecnologia de desenvolvimento sustentável que atende às exigências determinadas pelo Protocolo de Kyoto, contribuindo para a redução da emissão dos principais gases causadores do efeito estufa ( $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ ). Sob o ponto de vista energético, a biodigestão anaeróbia possibilita a produção de energia a partir de dejetos, aliando o saneamento à produção de energia alternativa.

Deve-se ressaltar que a decomposição do material orgânico por meio da biodigestão anaeróbia é diferenciada segundo suas características físicas, químicas e biológicas resultantes da composição da dieta e do tipo de manejo de dejetos, o que influencia na composição do biogás.

Outros fatores podem estar envolvidos além da quantidade excretada de fezes pelos animais, entre eles: peso, idade, nível de produção, estado fisiológico (animais prenhes, secas, em lactação, em acabamento), sistema de produção (pasto, confinamento ou semi-confinamento) e, até mesmo, a estação do ano. Animais estabulados, recebendo altos níveis de alimentação, terão produção mais elevada de dejetos do que animais mantidos em regime de pastejo (AMORIM, 2002).

A análise da influência da dieta nas características dos dejetos de cabras visa auxiliar a gestão de resíduos na propriedade no que se refere às melhorias no tratamento por meio de biodigestores. Esta análise poderá auxiliar a determinação de dados sobre a produção diária de dejetos por animal, podendo-se estimar a produção por setor e total de uma caprinocultura; a quantidade de água a ser utilizada na diluição do dejetos; o potencial de produção de biogás do referido resíduo, associando-o ao consumo médio de biogás nos equipamentos comumente utilizados na caprinocultura; além do custo-benefício econômico e ambiental do uso de biodigestores para a gestão dos resíduos gerados na caprinocultura.

Apesar da importância da composição dos resíduos no processo de biodigestão, muitas pesquisas ainda deverão ser conduzidas com o objetivo de atingir o controle total do processo, pois vários fatores podem interferir na eficiência da biodigestão da matéria orgânica, tais como: a velocidade de crescimento das bactérias metanogênicas, o tempo de retenção hidráulica, a temperatura, a umidade relativa do ar; a temperatura, a composição e pH do substrato, além da agitação, frequência e velocidade de agitação do substrato.

Com base no exposto, o objetivo geral da presente pesquisa foi analisar o processo de biodigestão anaeróbia de dejetos de cabras leiteiras alimentadas com diferentes tipos de dietas, visando definir a influência da alimentação nas características dos resíduos gerados e conseqüente produção de biogás.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A caprinocultura de leite no Brasil

O Brasil possui cerca de 10 milhões de cabeças de caprinos, correspondendo ao maior rebanho da América do Sul, e o 9º maior rebanho do mundo (ANUALPEC 2004).

A produção nacional diária de leite de cabra é de 22.000 litros, sendo a produção mensal de 660.000 litros e a produção anual de 7.920.000 litros. Considerando-se que a clientela para o leite de cabra é formada por um público diferenciado, estima-se que o potencial de demanda seja o dobro destes valores de produção (COSTA, 2004).

Apesar de dispor de apenas 3,5% do rebanho caprino efetivo do Brasil, a Região Sudeste destaca-se pela representatividade de seus Estados no agronegócio caprino leiteiro, tanto pela produção comercial (21% do total produzido no país) quanto pela participação no mercado do leite de cabra e seus derivados. Destaca-se ainda pelas iniciativas pioneiras de produtores e indústrias quanto à legislação sanitária e *marketing* do leite de cabra, coleta granelizada, produção de leite em pó, leite longa vida, leite achocolatado, leite *light*, queijos finos, sorvetes e cosméticos (BORGES, 2003).

A produção de leite de cabra na Região Sudeste do Brasil caracteriza-se pelo uso de sistemas de produção intensivos confinados, na sua grande maioria em pequenas áreas próximas das regiões metropolitanas e centros urbanos. Nesses sistemas, animais de raças leiteiras especializadas (Saanen, Alpina e Toggenburg) ou mestiças são mantidos em áreas restritas ou galpões, sendo toda a alimentação fornecida no comedouro (BORGES, 2003).

No confinamento é possível melhorar o controle do rebanho, de modo a reduzir a infestação de doenças e parasitas, além de fornecer alimento de qualidade durante o ano inteiro. Segundo MATTOS (1988), existe um interesse pelo confinamento de animais leiteiros como decorrência da necessidade de trabalhar com índices de produção mais elevados e das dificuldades de manejo no uso das pastagens.

Considerando-se a necessidade do fornecimento de ambiente adequado, traduzido por uma boa alimentação e instalações confortáveis, bem arejadas e livres de umidade, pode-se optar basicamente entre os seguintes sistemas de confinamento de cabras leiteiras: 1) em piquetes, cuja declividade do terreno permita o rápido escoamento das águas pluviais, devendo ser recobertos por grama ou capim rasteiro em áreas muito inclinadas. As áreas de cocho e de descanso devem ser cobertas e localizadas na parte

alta do terreno. Esse é um sistema mais apropriado para regiões de clima mais seco; 2) em instalações totalmente cobertas (galpões), com piso ripado suspenso ou de cama sobre a terra ou areia (BORGES, 2003; RIBEIRO, 1998).

## **2.2 O manejo de dejetos no sistema de produção de leite de cabra**

A produção de leite em sistemas intensivos concentra grande quantidade de dejetos por unidade de área, incorrendo em riscos para saúde e para o bem-estar animal, além dos possíveis danos ao ambiente. Segundo MATOS (2001), em locais de criação confinada pode ocorrer a contaminação das águas superficiais com patógenos (bactérias, vírus, etc.), além de metais pesados e outros componentes tóxicos, presentes nas excretas em razão da inclusão de componentes minerais e do uso de vacinas e antibióticos.

Além disso, o tipo de manejo adotado na de produção animal pode ser uma fonte de gases, aerossóis, vapores e poeira que, individualmente ou em combinação, podem causar alguns problemas na qualidade do ar, tais como odores desagradáveis, problemas de saúde para os animais em confinamento, corrosão de materiais e a geração de gases nocivos, que podem afetar os animais e os humanos (MOFFITT, 1999).

Quando os animais são confinados, aumenta-se a densidade demográfica e, com isso, aumenta-se o risco de transmissão de doenças e de estresse ambiental sobre a produção de leite (BORGES, 2003; PINHEIRO *et al.*, 2000). A coleta, transporte, estocagem, tratamento e aplicação devem ser compatíveis com a produção higiênica do leite, com o sistema de confinamento e com a legislação ambiental (MATTOS, 1988).

Os dejetos podem ser manejados tanto na forma sólida (conteúdos de sólidos totais maiores que  $15-20 \text{ dag.L}^{-1}$ ), quando são denominados “estercos”, quanto na forma líquida ( $6-8 \text{ dag.L}^{-1}$ ) (MATOS, 2001).

No caso da criação de caprinos, as limpezas dos estábulos e currais geram grande quantidade de dejetos que são lançados diretamente em rios, lavouras ou pastagens, sem qualquer tratamento, poluindo o ambiente. Em várias propriedades, muitas vezes o esterco é deixado amontoado em áreas próximas ao estábulo, perdendo boa parte de suas características fertilizantes e atraindo moscas (RIBEIRO, 1998). Em relação à quantidade de esterco produzida, estima-se que uma cabra produz, em média, 600 kg de esterco ao ano (JARDIM, 1977).

Considerando que os dejetos não são necessariamente tóxicos, ao se fazer reciclagem, tem-se como meta a conversão do resíduo em algo útil e, ao se adotar apenas o tratamento do resíduo, o que se busca é colocá-lo em condições de disposição no ambiente com o menor impacto possível, garantindo a sustentabilidade do sistema (LUCAS JÚNIOR, 1993).

### **2.3 Características dos dejetos de caprinos**

Alguns estudos sobre o potencial de utilização do esterco de caprinos e ovinos ressaltam o seu valor, tendo em vista as comparações feitas com o esterco de bovinos, entretanto, poucos dados existem na literatura quanto ao seu uso. Como exemplos, citam-se: produção de húmus, fonte de energia através de biodigestores, alimentação de outras espécies animais, etc. (ALVES e PINHEIRO, 2002).

A caracterização dos resíduos pode ser feita por meio de alguns parâmetros que consideram as propriedades físicas e químicas dos mesmos. MOFFIT (1999) descreveu os seguintes termos usados para a caracterização dos resíduos: volume (espaço ocupado em uma unidade cúbica, expresso em kg, m<sup>3</sup> ou L), conteúdo de umidade (parte da água removida do dejetos pela evaporação e secagem a 103°C, em %); sólidos totais (resíduo remanescente após a evaporação da água, constituída de matéria seca evaporada, em %); sólidos voláteis (parte dos sólidos totais que foram volatilizados quando submetidos à aquecimento à 600°C, matéria orgânica, em %); sólidos fixos (parte dos sólidos totais remanescente após a volatilização dos gases a 600 °C, cinzas, em %); sólidos dissolvidos (sólidos totais que passam através de um filtro); sólidos suspensos (sólidos totais retidos pelo processo de filtração, em %).

Entretanto, esta caracterização é variável. KALTWASSER (1980) e WILLIAMSON & PAYNE (1980) expressaram a produção média diária de dejetos de caprinos, em porcentagem de peso vivo, igual a 3% de fezes e 1-1,5% de urina; o teor de sólidos totais de 30% e o teor de sólidos voláteis de 20% .

Na Tabela 1 estão apresentadas algumas características dos dejetos de cabras estabuladas e em pastoreio, com base na concentração de nutrientes (AGRAZ, 1989).

TABELA 1 – Composição dos dejetos produzidos por cabras estabuladas e em pastoreio.

Componente	Cabras Estabuladas			Cabras em Pastoreio		
	Seco	Fresco	Curtido	Seco	Fresco	Curtido
Umidade	21,57	63,06	72,19	12,18	51,19	65,60
Nitrogênio amoniacal (N)	0,05	0,05	0,06	0,04	0,03	0,00
Nitrogênio orgânico (N)	1,38	0,67	0,51	2,23	1,17	0,82
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1,56	0,67	0,57	1,06	0,72	0,54
Potássio (K <sub>2</sub> O)	0,02	0,14	0,22	1,25	0,36	0,35
Matéria Mineral	13,68	6,19	4,99	15,60	8,88	6,69
Matéria Orgânica	64,75	30,75	22,82	72,22	39,93	27,81
Matéria Seca	78,43	36,94	27,81	87,82	48,81	34,50

(AGRAZ, 1989).

Outro fator muito importante é a influência das características dos dejetos na degradação pelos microorganismos, dando origem a diferentes gases. Os gases de maior interesse e importância no manejo de dejetos são o metano (CH<sub>4</sub>), a amônia (NH<sub>3</sub>) e o sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) (CORBITT, 1990), que são produzidos pelo solo em condições anaeróbias.

Sob condições aeróbicas, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o principal gás produzido pela decomposição dos resíduos. Entretanto, mais de 40 outros compostos têm sido identificados no ar exposto à degradação de dejetos animais. Alguns deles incluem os mercaptanos (que dão origem ao mau cheiro), aromáticos, sulfetos e vários outros ésteres, carbonilas e aminas (MOFFIT, 1999).

As características dos dejetos excretados são muito influenciadas pelos efeitos do clima, estação do ano, espécie, dieta, grau de confinamento e estágio de ciclo produtivo e reprodutivo. As características do armazenamento e tratamento de dejetos são muito afetadas pela sedimentação, flutuação e degradação biológica e tipo de tratamento e armazenamento adotado (MOFFITT, 1999).

Conhecer a quantidade de esterco produzido permite prever não só a receita oriunda da venda do produto, como a disponibilidade para utilização em lavouras próprias do estabelecimento. O esterco de cabra conceitua-se como um dos adubos mais ativos e concentrados, estimando-se que 250 kg de esterco de cabra, equivalentes a 500 kg de esterco de vaca (ALVES e PINHEIRO, 2002).

### **2.3.1 A influência da alimentação nas características dos dejetos**

A quantidade e composição dos dejetos dependem primeiramente da quantidade e qualidade de alimento ingerido e de sua digestibilidade, além do peso vivo dos animais (WERNER *et al.*, 1989). A alimentação de animais ruminantes, como no caso das cabras, necessita de fornecimento de alimentos fibrosos como capim, feno e silagem, além de outros alimentos volumosos (ANDRIGUETTO *et al.*, 1983).

De acordo com Van HORN *et al.* (1994), os nutrientes excretados no esterco (fezes e urina) variam significativamente de acordo com a ingestão de alimentos, níveis de suplementação e também com as quantidades destes nutrientes que são secretadas no leite.

Os caprinos são pequenos ruminantes cuja base de alimentação é constituída por plantas forrageiras (DORIGAN, 2004). As cabras selecionam não só o tipo de planta (gramíneas), mas também a parte da mesma (ápice) e o estágio de maturidade (folhas mais novas) (CARVALHO, 2002). Além disso, o manejo nutricional de caprinos é bem variável devido a sua grande voracidade, pois é pequeno o número de produtos vegetais recusados por eles (RIBEIRO, 1998).

Da ração balanceada média, mais ou menos 2/3 são digeridos e 1/3 vai então para o esterco. Têm-se por isso que dividir o peso da matéria seca do alimento por três, para se obter o peso da matéria seca nos excrementos (ALVES, 2002). A energia necessária pelos animais para a produção de carne e leite é calculada com base nos requerimentos para manutenção, pastejo, trabalho e prenhez e lactação (BOUWMAN *et al.*, 2004).

Neste sentido, pode-se inferir que a qualidade da forragem é o fator que mais afeta a nutrição da cabra e, por efeito, a quantidade e qualidade do dejetos, afetando, conseqüentemente, o processo de biodigestão anaeróbia.

#### **2.3.1.1 Efeitos do ambiente sobre a ingestão de alimento**

O consumo de matéria seca pelas cabras depende de uma complexidade de fatores biológicos, ambientais e dietéticos, pela natureza química e física do alimento oferecido (SILVA, 1991) e inclusive pela temperatura e umidade do ambiente (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1987).

Segundo CURTIS (1983), os fatores ambientais influenciam o comportamento ingestivo bem como outros modos que os animais utilizam seu tempo. Desta forma pode-se dizer que os requerimentos nutricionais do animal são dependentes da temperatura ambiente (HAFEZ, 1968).

Do ponto de vista bioclimático, apesar de os caprinos serem considerados animais rústicos, a associação entre elevadas temperaturas e altas umidades do ar e radiação pode acarretar alterações comportamentais e fisiológicas, como aumento da temperatura da pele, elevação da temperatura retal, aumento da frequência respiratória, diminuição da ingestão de alimentos e redução do nível de produção (LU, 1989, citado por BRASIL, 2000).

De acordo com Bhattacharya & Uwayjan, 1975, citados por BRASIL (2000), quando um ruminante se acha sob estresse por calor, reduz a ingestão de todos os tipos de alimento, mas os volumosos sofrem maior restrição (até 20%).

Quanto à ingestão de água, não existem regras gerais para determinar as quantidades necessárias. Geralmente, para um cálculo estimativo considera-se como base a superfície do corpo e o metabolismo basal. Tal cálculo, no entanto, negligencia a qualidade do regime, a temperatura e a umidade do ambiente, os ventos e o exercício produzido pelo animal, seu estágio de produção e fatores inerentes à própria qualidade da água ingerida (ANDRIGETTO *et al.*, 1983). Sendo assim, os valores para caprinos podem ser estimados com base nos valores sugeridos por ANDRIGETTO *et al.* (1983) para os ovinos, que é de aproximadamente 2 litros de água por kg de matéria seca consumida.

Para que a atividade celular seja normal o animal precisa ter seu ambiente interno estável com relação a flutuações externas, processo definido como homeotermia, homeostase ou homeocinese (BAÊTA e SOUZA, 1997). Para controlar o seu ambiente interno, o animal homeotérmico responde por meio de mecanismos de adaptação ao ambiente externo (CURTIS, 1983).

ESMAY (1969) relatou a temperatura de 40°C para o núcleo corporal de caprinos. Embora não represente uma média da temperatura do corpo, a temperatura retal é considerada a melhor medida de temperatura interna (DUKES, 1973).

As cabras sobrevivem em uma ampla faixa de temperatura quando comparadas às demais espécies de animais domésticos. A Zona de Conforto Térmico para cabras, que é a faixa de temperatura efetiva ambiental onde o desempenho do

animal é otimizado, situa-se entre 20 e 30°C (Curtis, 1983; Hafez, 1968; Mount, 1979, citados por BAËTA E SOUZA, 1997).

Na busca pela manutenção do equilíbrio interno, as tensões funcionais que provocam reações contra ambientes estressantes podem afetar a desempenho negativamente. Isto ocorre porque, diante de uma situação de estresse ambiental, a tensão provocada no animal influenciará a partição de recursos entre a manutenção, a produção e a reprodução. A tensão poderá alterar as funções internas, a diversidade de nutrientes, a redução da produtividade e da resistência às doenças (CURTIS, 1983).

BIANCA e KUNZ (1978), citados por BRASIL (2000), mostraram que cabras leiteiras, em condições estressantes, (40 °C e 30 % UR) tiveram a temperatura retal e frequência respiratória elevadas.

## **2.4 O processo de biodigestão anaeróbia**

A biodigestão anaeróbia apresenta-se no contexto global da comercialização de carbono como um mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) que, em síntese, significa estar dentro de um conjunto de alternativas, as quais visam assumir responsabilidades para redução das emissões de poluentes e promoção do desenvolvimento sustentável, previsto no Protocolo de Kyoto, em 1997.

Trata-se de um mecanismo de investimentos, pelos quais países desenvolvidos podem estabelecer metas para reduzir a aplicação de recursos financeiros em projetos como a produção de energia limpa. Ou seja, cada tonelada de CO<sub>2</sub> deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial (JOCKMAN, 2004). No caso da biodigestão anaeróbia, a transformação da biomassa em energia, isto é, dos dejetos em metano, um gás combustível contribui para substituir combustíveis fósseis, altamente poluentes.

No Brasil, os digestores anaeróbios têm sido aplicados para o tratamento de resíduos sólidos, incluindo culturas agrícolas, dejetos de animais, lodos de estações de tratamento de efluentes (ETEs) e lixo urbano. Estima-se que milhões de digestores anaeróbios tenham sido construídos em todo o mundo com esse propósito (CHERNICHARO, 1997).

A digestão anaeróbia é um processo microbiano que ocorre em reações seqüenciais, com a produção de gás combustível contendo 50 a 80 % de metano, 20 a 50 % de dióxido de carbono e traços de outros gases, um efluente líquido e um lodo sólido

(AXAOPOULOS, 2002). SOUTY (1999) relatou que a composição do biogás está na faixa de 55 a 70 % de CH<sub>4</sub>.

Devido ao seu elevado conteúdo de metano, resultante da degradação de combinações orgânicas na ausência de oxigênio molecular, o biogás é uma fonte atraente de energia (CORBITT, 1990). Neste sentido, a produção de biogás, a partir dos resíduos, pode atuar promovendo um desenvolvimento regional sustentável e contribuindo significativamente com a proteção ambiental, além de cooperar para a melhoria da coesão socioeconômica dentro de uma comunidade (KARPENSTEIN-MACHAN, 2002).

O processo anaeróbico é freqüentemente usado para tratar águas residuárias e resíduos sólidos (CORBITT, 1990) e como tratamento primário de resíduos industriais e da agropecuária (Speece, 1996; Gosh, 1997, citados por KARIM *et al.*, 2004). No entanto, todos os compostos orgânicos podem ser degradados pela via anaeróbia, sendo que o processo se mostra mais eficiente e mais econômico quanto os dejetos são facilmente biodegradáveis (CHERNICHARO, 1997).

O biodigestor visa criar um ambiente artificial propício ao desenvolvimento das bactérias anaeróbias e, conseqüentemente, à realização do processo de digestão por via anaeróbia (MAGALHÃES, 1986). Entretanto, fatores como a temperatura e a adição de inóculo podem atuar na melhoria do processo de biodigestão.

A temperatura do substrato exerce influência sobre a velocidade do processo de biodigestão anaeróbia, atuando diretamente na taxa de crescimento dos microorganismos (SOUZA, 2001).

HARDOIM (1999) avaliou o efeito do aquecimento do substrato de dejetos de bovinos de leite com 25, 35 e 40°C e verificou que o emprego do aquecimento do substrato aumentou a eficiência dos biodigestores e concluiu que a produção volumétrica de metano foi maior à temperatura de 35°C.

Biodigestores operando na faixa termofílica produzem, mais rapidamente, maior quantidade de biogás do que àqueles que operam na faixa mesofílica, resultando, portanto, em menores tempos de retenção, com câmaras menores e menores custos. Porém, o baixo custo da câmara de fermentação acaba sendo compensado pelos custos de aquecimento e, apesar de a temperatura de 35°C ser considerada ótima, a maioria dos biodigestores anaeróbios opera na faixa mesofílica, pois temperaturas entre 25 e 35°C podem emitir resultados mais econômicos em algumas situações (LUCAS JÚNIOR, 1994).

O inóculo é um tipo de aditivo de origem biológica, que pode ser usado para melhorar a produção de biogás nos sistemas de digestão anaeróbia. O uso de inóculo visa aumentar a população microbiana, típicos da digestão anaeróbia, para aumentar tanto a produção de biogás quanto o conteúdo de metano (YADVIKA *et al.*, 2004).

O potencial de produção pode ser expresso em m<sup>3</sup> de biogás por dia, por kg de estrume “in natura” adicionado como parte do substrato, por kg de sólidos totais adicionados ou reduzidos, por kg de sólidos voláteis adicionados ou reduzidos, por m<sup>3</sup> de substrato em fermentação ou por m<sup>3</sup> do volume do biodigestor (Nascimento e Lucas Júnior, 1995, citados por SOUZA 2001).

A caprinocultura, assim como as demais atividades da produção animal, gera considerável volume de resíduos que, se gerenciados de forma inadequada, provocam, como afirmou LUCAS JÚNIOR (1994), perdas de potencial energético, tanto produtivo, em termos agrícolas, por meio dos componentes fertilizantes, quanto calorífico, pela capacidade de produção de biogás decorrente do teor de matéria orgânica degradável (sólidos voláteis). Ainda segundo esse autor, cada kg ou L de dejetos desperdiçado representa grande prejuízo para o ambiente e perda significativa para o produtor (AMORIM, 2002).

#### **2.4.1 A importância do substrato no processo de biodigestão**

O desempenho dos biodigestores anaeróbicos é afetado primariamente pelo tempo de retenção do substrato no reator e a redução do contato entre o substrato usado no abastecimento e a população de bactérias viáveis (KARIM *et al.*, 2004).

Segundo SOUZA (2001), a composição do biogás oriundo de dejetos de animais varia de acordo com a natureza da matéria fermentada e ao longo do processo de fermentação, ou seja, a decomposição do material orgânico é diferenciada segundo suas características físicas, químicas e biológicas resultantes da composição da dieta e do tipo de manejo de dejetos.

A princípio, todos os materiais orgânicos podem ser digeridos. Entretanto, somente substratos líquidos e homogêneos podem ser usados em biodigestores, tais como fezes e urina resultantes da produção animal e água residuária de sanitários. A máxima produção de biogás a partir de uma dada quantidade de matéria natural depende do tipo de substrato (ISAT, 1988).

O potencial de produção de biogás a partir do estrume de ruminantes pode sofrer variações em função da qualidade nutricional dos alimentos fornecidos aos animais, esperando-se diferenças entre estrumes coletados a partir de animais que são criados somente no pasto em relação aos de animais que recebem suplementação alimentar, principalmente se for proveniente de alimento concentrado (Lucas Júnior (1994), citado por AMORIM, 2002).

Além disso, vários fatores interferem no processo de biodigestão anaeróbia, a exemplo do gerenciamento da fase de partida ou de adaptação dos microorganismos ao substrato, considerando-se a opção pelo uso ou não do percentual de inóculo com relação ao volume de substrato; ajuste do pH, temperatura e composição do substrato; adequação do tempo de retenção hidráulica necessária à estabilização completa; adoção ou não de técnicas auxiliares, por exemplo, a agitação do substrato (SOUZA, 2001).

Outro aspecto importante a ser observado na biodigestão anaeróbia é o teor de sólidos totais do substrato. LUCAS JR. *et al.* (1998) encontraram melhor produção de biogás em biodigestores modelo batelada quando o teor de sólidos totais do substrato foi menor que 8 %, em relação a um teor de sólidos totais de 16 %.

Resultados sobre a média de redução de sólidos totais de 71,3 % e 58,1 % de sólidos voláteis em biodigestores abastecidos com dejetos caprinos foram encontrados por AL-MASRI (2001). Esses resultados foram superiores aos encontrados por AMORIM (2002), cuja redução de sólidos voláteis variou de 28,6 % a 45 %.

Em experimento realizado por AMORIM (2002), os resultados encontrados indicaram que os potenciais médios de produção de biogás são maiores durante o verão e outono (em média  $0,79 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  de sólidos voláteis reduzido) em relação às demais estações do ano, assim como é menor tempo para se atingir teores mais elevados de metano (em média 61,0 % de metano na primeira semana).

De acordo com STEIL (2001), o ponto chave na partida do processo está relacionado a uma população microbiana adaptada ao resíduo em questão, que pode ser suprida por microorganismos presentes no próprio resíduo, ou pode ser introduzida no biodigestor por meio da utilização de inóculo.

CHANAKYA (1997) sugeriu que a taxa de decomposição de resíduos da biomassa e a formação de uma população equilibrada da microflora inicial seja crucial para o processo de biodigestão anaeróbia.

A rapidez e a extensão de colonização de bactérias metanogênicas parecem ser dependentes da composição inicial de substrato de biomassa e a taxa de

decomposição para produzir vários intermediários metanogênicos. O tamanho da população de bactérias metanogênicas inicial deve ser adequado em relação à proporção da microflora acidogênica nos resíduos da biomassa (CHANAKYA, 1997).

Desta maneira, pode-se observar que tanto a composição do dejetos quanto sua correta diluição para formar o substrato utilizado para abastecer os biodigestores têm importância fundamental no processo de biodigestão.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área Experimental**

O experimento foi conduzido no Setor de Caprinocultura do Departamento de Zootecnia e no Laboratório de Construções Rurais do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG. A referida cidade localiza-se na latitude de 20°45'45" sul e longitude 42°52'04" oeste. O clima da região, de acordo com a classificação de Koppen, é Cwa (quente, temperado chuvoso, com estação seca no inverno e verão quente).

#### **3.2 Período Experimental**

O experimento foi conduzido durante quatro meses (de março a julho de 2005), sendo dividido em duas fases.

A primeira foi conduzida no Setor de Caprinocultura – DZO/UFV e constou da coleta e caracterização dos dejetos gerados por caprinos alimentados com três dietas.

A segunda, por sua vez, foi conduzida no Laboratório de Construções Rurais – DEA/UFV e constou do ensaio de biodigestão anaeróbia, utilizando como substrato os dejetos provenientes das cabras alimentadas com as três dietas.

#### **3.3 Galpão Experimental**

O galpão experimental, com 12 m de largura e 48,75 m de comprimento, era constituído de divisórias de alvenaria até a altura de 2,5 m, acima das quais se utilizou fechamento constituído de elementos vazados de 0,20 m x 0,20m, com 1,20 m altura. O pé direito era de 4,10 m; o piso de concreto com junta plástica e cobertura de telha, de fibrocimento.

O galpão continha baias individuais de 1,20 m de largura e 1,60 m de comprimento, com divisórias de concreto de 1,70 m de altura e piso ripado metálico, nas quais foram alojados os animais.

### 3.4 Animais

Foram utilizadas 12 cabras adultas não-lactantes, das raças Saanen e Parda Alpina, com peso médio entre 50 e 60 kg.

### 3.5 Ambiente Térmico

Para caracterizar o ambiente térmico onde os animais foram alojados e avaliar sua influência sobre o consumo alimentar, considerou-se índices térmicos ambientais calculados a partir de registros das variáveis dos mesmos, feitos a partir de sensores instalados em diversos pontos no interior do galpão.

Conjuntos formados por um termômetro de bulbo seco, um termômetro de bulbo úmido e um termômetro de globo negro foram instalados a uma altura correspondente à cabeça dos animais, dispostos da seguinte maneira:

- No interior de uma das baias de cada tratamento – Figura 1(a);
- No corredor, em frente às baias, onde também foi colocado um termômetro de máxima e mínima – Figura 1(b).

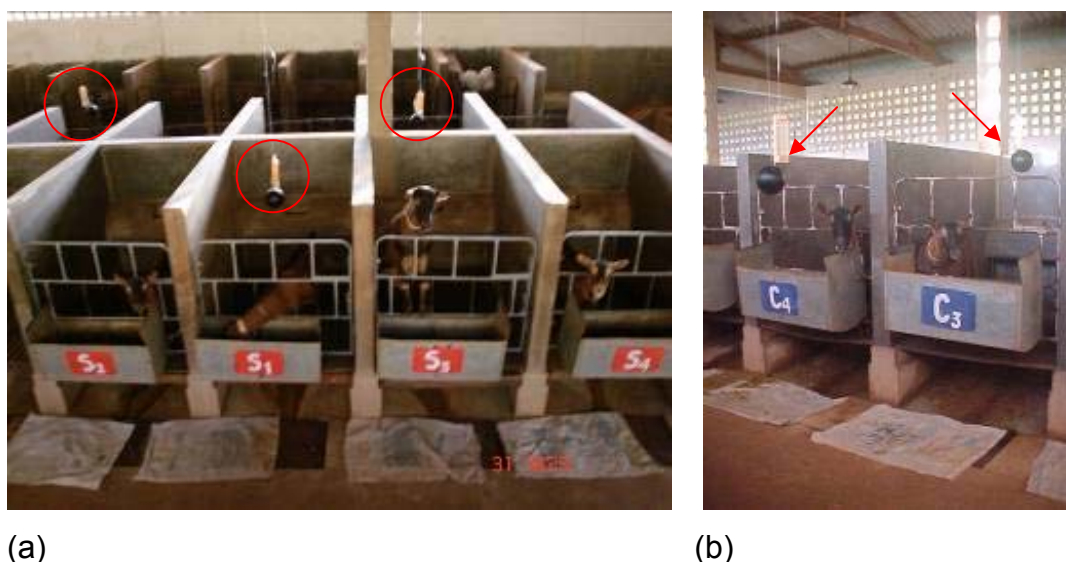


FIGURA 1 – Disposição dos sensores no galpão: no interior de uma das baias de cada tratamento (a) e no interior de uma baia e corredor (b).

As leituras foram feitas de 2 em 2 horas, das 6 horas da manhã às 18 horas, todos os dias, durante o período experimental.

### 3.5.1 Cálculo dos índices térmicos ambientais

#### 3.5.1.1 Umidade Relativa (UR)

A determinação da umidade do ar foi feita por meio de um psicrômetro ordinário não aspirado, de acordo com seguinte cálculo:

$$f = \frac{100e}{e_s} \quad \text{eq. (1)}$$

em que:

$f$  = umidade relativa do ar, em %.

$e_s$  = pressão de saturação do vapor d'água, em hPa, calculada pela equação (2);

$e$  = pressão real de vapor d'água na atmosfera, em hPa, calculada pela equação (3);

$$e_s = 6,1078 \times 10^{[(7,5t)/(237,3+t)]} \quad \text{eq. (2)}$$

em que  $t$  é a temperatura do ar em °C.

$$e = e_{su} - AP(t - t_u) \quad \text{eq. (3)}$$

em que:

$e_{su}$  = pressão de saturação do vapor d'água à temperatura de bulbo úmido em hPa, calculada pela equação (4);

$A = 8,0 \cdot 10^{-4} \text{ °C}^{-1}$ , para psicrômetros não aspirados;

$P$  = pressão atmosférica local, em hPa;

$T$  e  $t_u$  = temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido, respectivamente, em °C.

$$e_{su} = 6,1078 \times 10^{[(7,5t_u)/(237,3+t_u)]} \quad \text{eq. (4)}$$

#### 3.5.1.2 Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

O índice de Temperatura de Globo Negro e umidade (ITGU) foi calculado da forma proposta por BUFFINGTON *et al.* (1981), considerando em um único valor os efeitos da temperatura de bulbo seco, da umidade relativa, da radiação e da velocidade do ar, por meio da seguinte expressão:

$$ITGU = 0,72(Tgn + Tbu) + 40,6 \quad \text{eq. (5)}$$

em que:

Tgn = temperatura do globo negro, em °C e

Tbu = temperatura de bulbo úmido, em °C.

### 3.5.1.3 Carga térmica radiante (CTR)

A Carga Térmica Radiante (CTR), em condições de regime permanente, expressa a radiação total recebida por animal de todos os espaços ou partes da vizinhança foi determinada pela equação de Stefan-Boltzmann (ESMAY, 1974):

$$CTR = \sigma(TMR)^4 \quad \text{eq. (6)}$$

em que:

CTR = carga térmica radiante, W.m<sup>-2</sup>;

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann, 5,67x10<sup>-8</sup>W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-4</sup>; e

TRM = temperatura radiante média, K, calculada segundo BOND e KELLY (1955).

A TRM foi determinada pela equação:

$$TRM = 100\sqrt[4]{2,51 \cdot \sqrt{v} \cdot (Tgn - Tbs) + (Tgn/100)^4} \quad \text{eq. (7)}$$

em que:

v = velocidade do ar (m.s<sup>-1</sup>); e

Tbs = temperatura de bulbo seco, K.

## 3.6 Avaliação das respostas animais

### 3.6.1 Temperatura Retal (TR)

A Temperatura Retal (TR) foi medida utilizando-se um termômetro digital da marca More Fitness, nos horários de 09:00 e 15:00 h.

### 3.6.2 Consumo Alimentar (CA)

O consumo alimentar dos animais foi medido diariamente, durante uma semana. A cada nova oferta de alimento retiravam-se todas as sobras para posterior pesagem e coleta de amostras, a fim de proceder à análise do consumo de cada animal.

### 3.7 Dietas

As cabras foram alimentadas com três dietas diferentes, compostas pela mesma ração e três tipos de volumoso. Os animais foram divididos em três grupos, cada um com quatro cabras, alimentadas da seguinte maneira:

- Tratamento 1 – Capim Napier (*Penicetum purpureum*) + ração.
- Tratamento 2 – Feno de Tifton 85 + ração.
- Tratamento 3 – Silagem de milho + ração.

Para identificação dos tratamentos foram colocadas placas de identificação nos comedouros: cabras alimentadas com capim foram denominadas C1, C2, C3 e C4; cabras alimentadas com feno foram denominadas F1, F2, F3 e F4; cabras alimentadas com silagem foram denominadas S1, S2, S3 e S4 (Figura 2).



FIGURA 2 – Disposição e identificação dos grupos no galpão, de acordo com a dieta.

### 3.8 Manejo alimentar

Os animais foram submetidos a um período de 14 dias de adaptação à alimentação. O alimento volumoso (capim, silagem e feno) foi oferecido à vontade, em comedouro separado daquele da ração. A alimentação era distribuída duas vezes ao dia: no início da manhã (9 horas) e à tarde (16 horas). A cada nova oferta de alimento, os comedouros foram limpos e as sobras pesadas.

Para o fornecimento da ração, estimou-se que o consumo em gramas de matéria seca por dia seria função do peso metabólico, levando em consideração que foram usadas cabras no mesmo estágio fisiológico, com a mesma faixa de peso e idade. Desta forma, foi fornecido em média 400 g de ração para cada animal, diariamente.

A composição do concentrado fornecido às cabras durante o período experimental está apresentada na Tabela 2.

TABELA 2 - Composição do concentrado fornecido às cabras durante o período experimental.

<b>Ingredientes</b>	<b>(%)</b>
Fubá	44,30
Farelo de Soja	37,10
Farelo de Algodão	4,90
Farelo de Trigo	4,90
Minerais	3,92
Uréia	1,96
Calcáreo Calcítico	1,96
Bicarbonato de Sódio	0,98
TOTAL	100,00

Foram coletadas amostras do alimento fornecido e das sobras em todas as baias, durante sete dias. As amostras compostas foram levadas para análise de composição no Laboratório de Bromatologia do Departamento de Zootecnia da UFV, seguindo metodologia descrita por SILVA e QUEIROZ (2002).

### 3.9 Coleta de dejetos

Os dejetos foram coletados no galpão experimental do Setor de Caprinocultura da UFV. Os animais foram alojados em gaiolas metabólicas individuais de 0,9 x 1,20 m, equipadas com comedouros e bebedouros, piso ripado metálico e coletores de dejetos (Figura 3 e 4).



FIGURA 3 – Gaiola metabólica individual.

O sistema coletor de dejetos era composto por quadros de madeira com telas de nylon encaixados a 10 cm abaixo do piso ripado, com as mesmas dimensões do piso nos quais as fezes ficavam retidas. A urina que escoava no chão era canalizada para um tubo coletor e armazenada em garrafas plásticas para posterior medição do volume (Figura 4).



FIGURA 4 – Sistema coletor de dejetos adaptado nas gaiolas metabólicas.

Os dejetos (fezes e urina) foram coletados e quantificados diariamente, durante uma semana. O volume de urina foi medido usando-se uma proveta de 1 L e as fezes foram pesadas em balança digital.

### 3.10 Ensaio de biodigestão anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia dos três tipos de resíduos, provenientes das três diferentes dietas oferecidas às cabras, foi avaliado por meio de um sistema de biodigestão em escala laboratorial.

Os substratos para abastecimento dos biodigestores foram compostos de dejetos, inóculo e água para a diluição dos dejetos, adotando-se a concentração final de sólidos totais em torno de 8%, considerado adequado à biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos.

Foi feito o controle de temperatura dos biodigestores para permitir o aquecimento uniforme do substrato.

#### 3.10.1 Sistema de biodigestão

Foram utilizados 9 biodigestores em escala laboratorial operando em batelada, sendo três para cada dieta (3 repetições), instalados no Laboratório de Construções Rurais do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV (Figura 5).



FIGURA 5 – Vista superior dos biodigestores conectados aos seus respectivos gasômetros.

Cada biodigestor de bancada era constituído de câmara única de digestão, conectada a um gasômetro independente. Para a função de câmaras de digestão, foram utilizados recipientes de vidro (3,1 L) com tampa plástica, vedados, aos quais foram adaptadas mangueiras plásticas com diâmetro interno de 5/8", que canalizavam o biogás aos gasômetros (Figura 6).

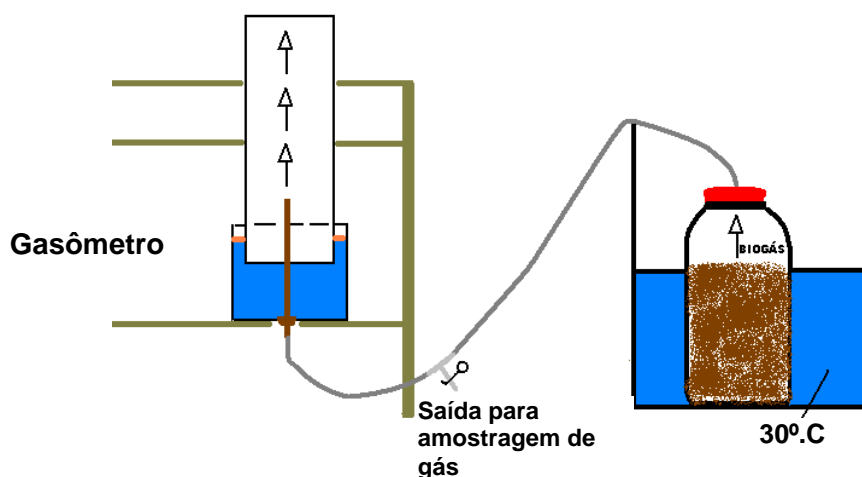


FIGURA 6 – Esquema de funcionamento dos biodigestores experimentais.

Os biodigestores foram instalados dentro de caixa de fibrocimento, contendo água suficiente para permitir o aquecimento e controle da temperatura a 30°C. O aquecimento da água foi feito por meio de uma resistência elétrica de 4.000 W e o controle da temperatura por meio de termostatos, cujo comando foi feito por software desenvolvido na Área de Energia na Agricultura do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. Para o isolamento térmico da caixa, foram usadas placas de isopor e lã de vidro adaptados à superfície externa.

Os gasômetros, com volume de 0,4 dm<sup>3</sup>, foram confeccionados com tubos de PVC de 100 mm, contendo escala graduada afixada em sua parte externa, imersos em água com uma fina camada de óleo contidas em tubos de PVC 150 mm. Todos os biodigestores e respectivos gasômetros foram codificados para facilitar a coleta de dados, conforme mostrado na Figura 7(a) e 7(b).



(a)



(b)

FIGURA 7 – Esquema dos gasômetros: vista externa dos gasômetros (a) e régua graduada no gasômetro para a leitura (b).

Para a descarga e coleta do gás, foram conectados “tês” com auxílio de mangueiras de silicone usadas para conduzir o gás desde a câmara digestora até os gasômetros. As mangueiras de silicone foram vedadas por meio de grampos de pressão de metal, os quais eram abertos nos momentos de coleta do gás (Figura 8). O biogás era coletado em perfurações feitas na mangueira de silicone, utilizando-se seringas de 0,3 mL.



FIGURA 8 – Conexão e grampo metálico, adaptados nos pontos de amostragem do biogás na mangueira de silicone.

### **3.11 Monitoramento do processo de biodigestão anaeróbia**

#### **3.11.1 Teores de sólidos totais e voláteis**

O teor de sólidos totais e sólidos voláteis das amostras de dejetos utilizados no abastecimento (afluente) e no desabastecimento (efluente) dos biodigestores foi determinado segundo metodologia descrita por APHA (1995).

Os cadinhos de porcelana foram tarados e as amostras foram pesadas para obtenção do peso úmido (Pu). Em seguida, foram levados à estufa, à temperatura de 105°C por 24 horas, sendo resfriadas, a seguir, em dessecador e novamente pesadas em balança com precisão de 0,0001 g para obtenção do peso seco (Ps).

Para a determinação dos sólidos voláteis, o material já seco em estufa, resultante da determinação dos sólidos totais, foi levado à mufla e mantido a uma temperatura de 550°C por um período de 2 horas. Após queima inicial com a mufla parcialmente aberta e, em seguida, após o resfriamento em dessecadores, o material resultante foi pesado em balança analítica com precisão de 0,0001 g, obtendo-se o peso das cinzas ou matéria mineral.

### 3.11.2 Composição do substrato

Utilizou-se 2 L de substrato constituído de dejetos, inóculo e água, nas devidas proporções para obter a concentração de 8% de sólidos totais em cada biodigestor. As quantidades de água usadas na diluição dos dejetos foram calculadas de acordo com a concentração de sólidos totais dos dejetos dos animais submetidos às diferentes dietas.

A concentração média de sólidos totais foi de 52,78 dag.L<sup>-1</sup> para os dejetos de animais, cujo tratamento seguiu uma dieta a base de capim; 50,87 dag.L<sup>-1</sup> para os dejetos de animais, cuja dieta foi a base de feno e 50,73 dag.L<sup>-1</sup> para os dejetos de animais, cuja dieta foi a base de silagem.

A concentração média de sólidos totais do inóculo foi de 4,7 dag.L<sup>-1</sup>.

Os valores usados para diluição do substrato e abastecimento dos biodigestores estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 – Valores de diluição do substrato usado para abastecimento dos biodigestores.

<b>Dieta</b>	<b>Dejeto (kg)</b>	<b>Inóculo (kg)</b>	<b>Água (L)</b>
Capim	0,258	0,511	1,232
Feno	0,267	0,511	1,220
Silagem	0,258	0,511	1,231

Após calculadas as quantidades descritas de água, inóculo e dejetos, as misturas foram homogeneizadas com a utilização de liquidificador, de modo que as cúbicas (fezes de caprinos) fossem quebradas, propiciando maiores condições de fermentação no interior dos biodigestores.

Os biodigestores foram devidamente vedados com cola de silicone para evitar a entrada de ar e propiciar um ambiente anaeróbio. Os substratos foram usados para abastecer os nove biodigestores, sendo três para cada dieta.

### 3.12 Determinação do volume de biogás

A determinação do volume de biogás foi feito diariamente, medindo o deslocamento vertical dos gasômetros e multiplicando-o pela área da seção transversal interna dos gasômetros, ou seja, 36,97 cm<sup>2</sup>.

As leituras eram registradas sempre às 9 horas da manhã e, quando os gasômetros estavam cheios, eram feitas as descargas por meio da abertura dos grampos no tubo de descarga.

A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20 °C foi efetuada com base no trabalho de CAETANO (1985), considerando que o biogás apresentou comportamento próximo ao ideal.

Conforme descrito por SANTOS (2001), para a correção do volume de biogás, utilizou-se a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac, onde:

$$\frac{V_o P_o}{T_o} = \frac{V_1 P_1}{T_1} \quad \text{eq. (8)}$$

sendo que:

$V_o$  = volume de biogás corrigido, m<sup>3</sup>;

$P_o$  = pressão corrigida do biogás, 10322,72 mm de H<sub>2</sub>O;

$T_o$  = temperatura corrigida do biogás, 293,15 K;

$V_1$  = volume do gás no gasômetro;

$P_1$  = pressão do biogás no instante da leitura, em mm de H<sub>2</sub>O;

$T_1$  = temperatura do biogás, em K, no instante da leitura.

Considerando que a pressão atmosférica média de Viçosa é igual a 9641,77 mm de coluna d'água e pressão, conferida pelos gasômetros em mm de coluna d'água, obteve-se como resultado a seguinte expressão, para que se pudesse corrigir o volume de biogás:

$$V_o = \frac{V_1}{T_1} \times 273,84575 \quad \text{eq. (9)}$$

Durante o período experimental, posterior às determinações semanais do volume biogás produzido, efetuava-se o teste de queima do mesmo, para que se pudesse determinar, de forma simples, pela cor da chama, a predominância de metano no biogás e, portanto, a possibilidade de utilização do mesmo como gás combustível.

### 3.13 Potencial de produção de biogás

Para o cálculo do potencial de produção de biogás foram utilizados os dados de produção diária e as quantidades de dejetos “in natura”, de substrato, de sólidos totais e de sólidos voláteis adicionados nos biodigestores, além das quantidades de sólidos voláteis reduzidos durante o processo de biodigestão anaeróbia. Os valores foram expressos em m<sup>3</sup> de biogás por kg de substrato, de estrume, de sólidos totais e voláteis reduzidos.

O potencial de produção de biogás dos dejetos de caprinos obtidos de animais alimentados pelas três dietas foi avaliado analisando a produção de biogás e os teores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) nos afluentes e efluentes dos biodigestores. As análises da concentração de sólidos foram feitas com base na metodologia descrita por APHA (1995).

### 3.14 Análise da composição do biogás produzido

A determinação dos teores de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) foi realizada semanalmente.

Para as análises da qualidade do biogás foram injetadas amostras em duplicata em modo “split” no cromatógrafo a gás SHIMADZU, modelo CG – 14B, com as seguintes especificações:

- Tipo de detector: TCD (detector de condutividade térmica)
- Tipo de coluna: Porapack Q
- Temperatura de injeção: 100
- Gás de arraste: N<sub>2</sub>
- Programa de temperatura da coluna: 50
- Tempo de corrida total: 5 minutos

Inicialmente, o cromatógrafo a gás foi calibrado com corridas separadas de 99% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), e o ar injetado em volumes de 0,3 mL. Posteriormente, foi feita pela injeção de diferentes quantidades de ar e usando a relação entre os fatores de resposta do TCD descritos por DIETZ (1967).

### 3.15 Análise estatística

No ensaio de caracterização dos dejetos, os dados foram analisados considerando-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições e os dados para avaliar o efeito das dietas na produção de biogás com três repetições. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. O experimento foi composto de 3 tratamentos (dietas) e 4 repetições (animais), considerando-se 7 dias de coleta.

Para avaliar o efeito das dietas na produção de biogás, o experimento foi montado num esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas dietas e nas sub-parcelas os tempos no DIC, sendo composto de três tratamentos (dietas) e três repetições (biodigestores). As médias foram comparadas pelo Teste de Tukey adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão. Para o fator quantitativo, os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o Teste “t” de Student, adotando-se o nível de 5% de probabilidade no coeficiente de determinação e no fenômeno biológico. Independentemente de a interação ser significativa ou não, foi feito o desdobramento da mesma devido ao interesse em estudo.

Os dados foram analisados mediante a utilização do programa SAEG 8.0.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do ambiente térmico

Com base nos dados coletados durante o período experimental, foram obtidas as médias do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), carga térmica de radiação (CTR) e umidade relativa do ar (UR). Os resultados encontrados referem-se ao período entre 6 e 18 horas obtidos no interior do galpão, onde os animais foram alojados, e no ambiente externo (abrigo meteorológico), sendo apresentados nas Figuras 9, 10 e 11.

#### 4.1.1 Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

Os dados apresentados na Figura 9 indicam que os animais alojados no galpão experimental estavam em melhor condição de conforto térmico do que o exterior, principalmente nos horários entre 12 e 14 horas.

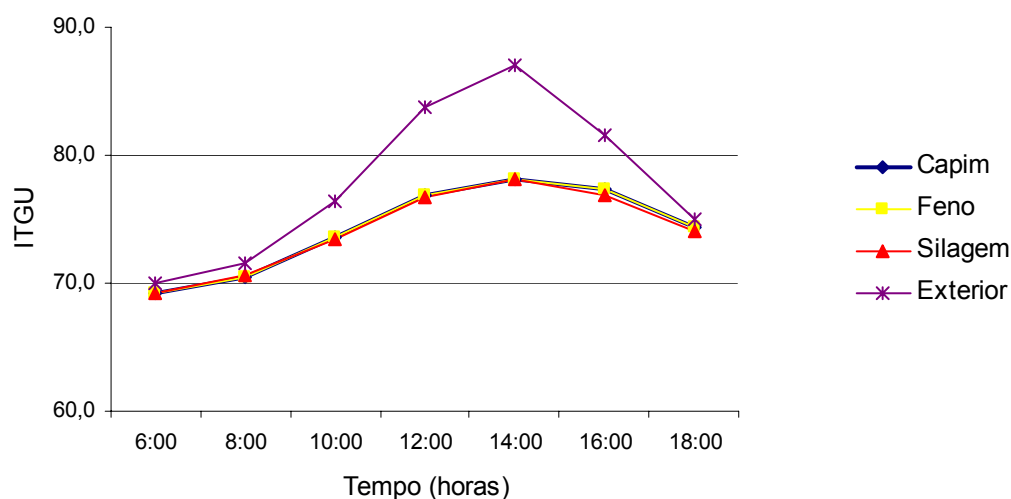


FIGURA 9 – Valores médios observados do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), em função dos horários de observação, para as diferentes dietas (capim, feno e silagem) e para o ambiente externo ao galpão, durante o período experimental.

As médias do ITGU nesses horários foram de 76,8 às 12 horas e 78,6 às 14 horas, no interior dos galpões, enquanto que no exterior foi de 83,8 às 12 horas e 87,0 às 14 horas. Isto se deve à redução dos índices térmicos ambientais proporcionados pelo alojamento dos animais no galpão.

#### 4.1.2 Carga térmica de radiação (CTR)

Por meio da Figura 10, pode-se observar que a CTR foi maior no exterior do galpão, atingindo seu valor máximo ( $610,0 \text{ W.m}^{-2}$ ) às 14 horas, em relação ao interior do abrigo ( $465,4 \text{ W.m}^{-2}$ ). Entre 12 e 14 horas, a temperatura radiante média proveniente das vizinhanças do globo negro atingiu os valores máximos, causando a conseqüente elevação dos valores de CTR nesses horários.

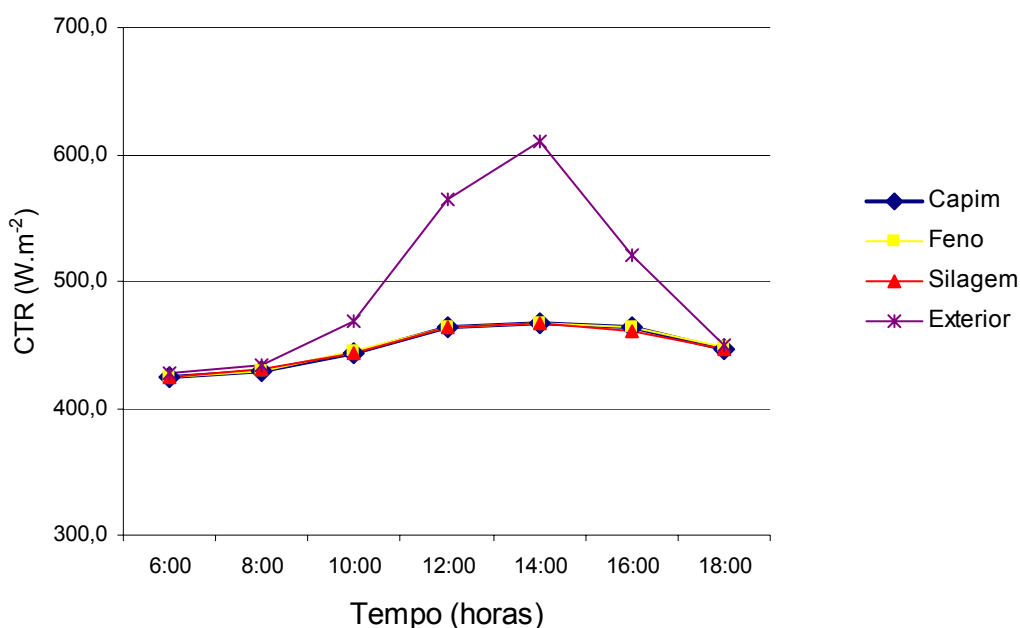


FIGURA 10 – Valores médios observados da carga térmica de radiação (CTR) em  $\text{W.m}^{-2}$ , em função da hora do dia, para as diferentes dietas (capim, feno e silagem) e para o ambiente externo ao galpão, durante o período experimental.

No interior do galpão, verificou-se que a radiação ambiente, que incidia sobre o animal foi semelhante em todos os tratamentos e em todos os horários observados. Esses dados indicam que os animais, em todas as baias, estavam expostos à mesma condição de conforto térmico-ambiente.

### 4.1.3 Umidade Relativa do ar (UR)

Observa-se na Figura 11 que os maiores valores de umidade relativa no interior do galpão (85,5%) e no ambiente externo (86,7%) foram obtidos no início da manhã e no final da tarde.

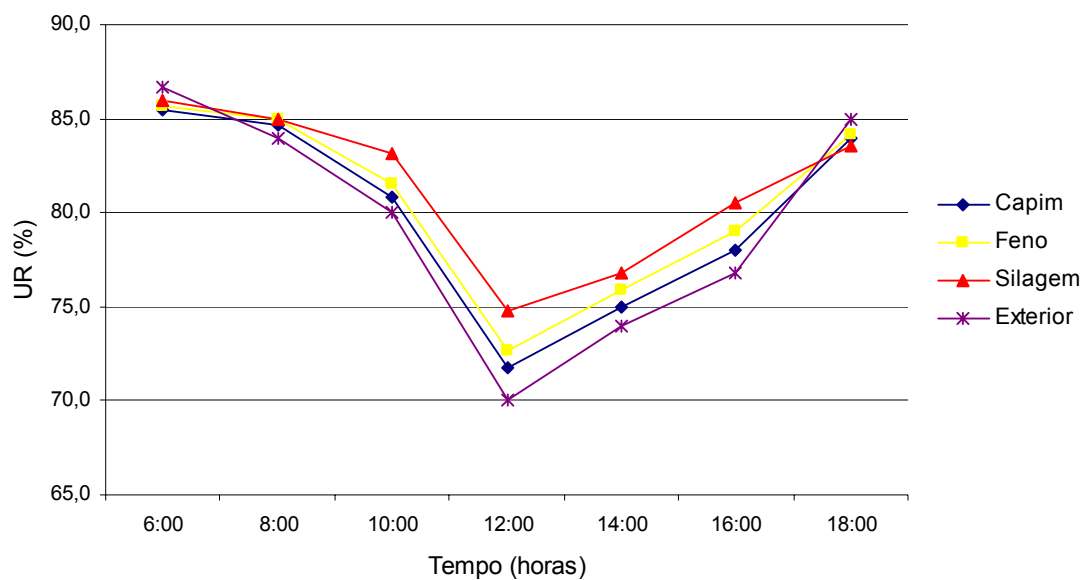


FIGURA 11 – Valores médios observados da umidade relativa (UR), em porcentagem, em função da hora do dia, para as diferentes dietas (capim, feno e silagem) e para o ambiente externo ao galpão, durante o período experimental.

Os valores foram decrescentes a partir das 8 horas, atingindo o valor de mínima UR de 71,7%, no interior do galpão, e 70%, no ambiente externo, às 14 horas, voltando a crescer a partir deste horário.

## 4.2 Avaliação das respostas dos animais

### 4.2.1 Temperatura retal

Na Tabela 4 estão apresentados os dados de temperatura retal, medidos às 9 horas e às 15 horas, durante o período experimental, nas condições ambientais apresentadas.

TABELA 4 - Temperatura retal das cabras submetidas às três dietas (capim, silagem e feno) durante o período experimental.

<b>Dieta</b>	<b>TR (9 h)</b>	<b>TR (15 h)</b>
Capim	38,0 A	38,6 A
Feno	38,5 A	38,9 A
Silagem	38,3 A	38,8 A

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Os dados apresentados na Tabela 4 mostram que não houve diferença estatística ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos, em ambos os horários. Entretanto, a temperatura retal às 9 horas foi menor do que às 15 horas em todos os tratamentos. Isto indica que os mecanismos que resultam em produção de calor pelo animal foram mais intensos à tarde, provavelmente devido à maior atividade metabólica (ruminação) nesse horário.

Verificou-se que, em média, animais alimentados com a dieta 2 apresentaram maiores valores de temperatura retal em ambos os horários (38,5 °C de manhã e 38,9 °C à tarde), em relação aos animais alimentados com a dieta 3 (38,3 °C de manhã e 38,8 °C à tarde) e 1 (38,0 °C de manhã e 38,6 °C à tarde), respectivamente.

Porém, pode-se observar que os valores de temperatura retal das cabras estiveram dentro da faixa considerada normal, o que significa que o ambiente térmico, avaliado pelo índice térmico ITGU, pela CTR e pela UR, não interferiu de maneira significativa nessa resposta fisiológica dos animais.

#### **4.2.2 Consumo alimentar**

O consumo médio diário de alimento em termos de matéria seca (MS) e matéria natural (MN) durante o período experimental está apresentado na Tabela 5. O consumo total de matéria seca foi obtido com base no consumo de matéria seca do volumoso e da ração.

Considerando-se o consumo de volumoso em termos de matéria natural foi observado que houve maior consumo de silagem (1467,92 g) em relação ao de capim (1152,21 g) e feno (591,90 g), respectivamente. Entretanto, os dados do consumo total em termos de matéria seca, ou seja, do volumoso desidratado mais a ração, revelaram

maior consumo de feno (1190,46 g) e silagem (1149,07 g) em relação ao capim (990,73 g).

TABELA 5 - Consumo médio diário das cabras em termos de matéria natural (MN) e de matéria seca (MS).

<b>Dieta</b>	<b>Volumoso em MN (g)</b>	<b>Volumoso em MS (g)</b>	<b>Consumo de ração (g)</b>	<b>Consumo Total de MS (g)</b>
Capim	1152,21 B	270,29 B	720,44	990,73 B
Feno	591,90 C	525,64 A	664,8160	1190,46 A
Silagem	1467,92 A	452,86 A	696,1989	1149,07 AB

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Estes resultados mostram que, embora os animais se encontrassem em condições térmicas ambientais semelhantes, o consumo de alimento foi diferente para as três dietas avaliadas. Desta maneira, pode-se inferir que o maior consumo de feno e silagem deve-se a melhor qualidade e palatabilidade desses alimentos, que estimularam sua ingestão pelas cabras em detrimento do capim.

#### 4.2.2.1 Análise das dietas

A composição bromatológica das dietas está apresentada na Tabela 6, na qual foram determinados os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibras em detergente neutro (FDN) e detergente ácido (FDA) e matéria mineral (MM).

TABELA 6 – Composição bromatológica dos volumosos.

<b>Amostra</b>	<b>ASE (%)</b>	<b>CZ (%)</b>	<b>PB (%)</b>	<b>FDN (%)</b>	<b>FDA (%)</b>	<b>EE (%)</b>	<b>CT (%)</b>
Capim	93,15	16,13	10,39	72,71	51,51	1,68	71,81
Feno	93,43	7,51	10,31	80,74	46,41	2,20	79,98
Silagem	93,05	6,04	13,20	70,57	36,33	3,80	76,96

OBS: Resultados expressos com base na matéria seca. ASE = matéria seca em estufa 105 °C; CZ = cinzas; PB = proteína bruta; FDN = Fibra em detergente neutro; FDA = Fibra em detergente ácido; EE = Extrato etéreo; CT = carboidratos totais. Teores de componentes da parede celular obtidos sem correção para cinzas e proteína.

A análise bromatológica revela a melhor qualidade da silagem e do feno, respectivamente, em relação ao capim. Isto se deve principalmente à proporção entre FDA e FDN da silagem (36,33% e 70,57%) e do feno (46,41% e 80,74%), ou seja, maior conteúdo de fibras digestíveis (hemicelulose). O capim apresentou elevado conteúdo de FDA (51,51%) e baixo conteúdo de FDN (72,71%), indicando pior qualidade.

### 4.3 Caracterização dos dejetos produzidos

#### 4.3.1 Produção de fezes

Os dados das médias de produção de fezes por animal, expressos em gramas de matéria natural e de matéria seca, e em gramas de matéria seca excretada em função da quantidade de matéria seca ingerida, de acordo com as dietas oferecidas, estão apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 – Produção diária de fezes por cabra, em gramas de matéria natural (MN) e de matéria seca (MS) e de matéria seca excretada por grama de matéria seca ingerida, em função das dietas oferecidas.

Dieta	Produção de MN de fezes(g)	Produção de MS de fezes(g)	Produção de MS de fezes(g)/ MS consumida (g)
Capim	432,25 B	228,09 B	0,24 A
Feno	668,87 A	340,19 A	0,28 A
Silagem	578,9 AB	305,24 AB	0,27 A

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Observou-se que os animais que consumiram maior quantidade de matéria seca produziram maior quantidade de dejetos, em termos de matéria natural. As cabras alimentadas com feno (668,87g de MN/dia por animal) e silagem (578,99g de MN/dia por animal) apresentaram valores de excreção estatisticamente iguais e superiores ( $P < 0,05$ ) àquelas alimentadas com capim (432,25 g de MN/dia por animal).

Estes valores foram próximos aos encontrados por AMORIM (2002), cuja pesquisa verificou que a produção diária de matéria natural de fezes de cabras secas variou, em média, entre 591,9 a 824,9g de MN/dia por animal.

A mesma tendência foi seguida em relação à quantidade de matéria seca excretada, sendo que as cabras alimentadas com feno e silagem produziram, em média, 340,19 e 305,24 g de MS/dia por animal, e as alimentadas com capim produziram, em média, 228,09 g de MS/dia por animal.

A análise da quantidade de matéria seca excretada em função da matéria seca ingerida revelou que não houve diferença estatística ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos. Entretanto, pôde-se observar que a dieta composta por feno teve melhor índice de produção de dejetos (0,28) em relação às dietas compostas por feno (0,26) e capim (0,22), respectivamente.

Tal fato pode ter ocorrido em consequência da dieta composta por feno possuir melhor qualidade, estimulando o consumo do alimento, além de proporcionar melhor digestibilidade (FDN= 80,74%) em relação ao capim (FDN= 72,71% e) e à silagem (FDN= 70,57%).

Os resultados indicam que o maior consumo das dietas a base de feno e silagem proporcionaram maiores produções de fezes, com base na matéria natural e na matéria seca excretada.

#### 4.3.2 Caracterização dos dejetos

Na Tabela 8 estão apresentadas as concentrações de sólidos totais (ST), umidade, sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF) das fezes, segundo as dietas avaliadas.

TABELA 8 - Concentrações de sólidos totais (ST), umidade (%), sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF) das fezes de cabras.

<b>Dieta</b>	<b>ST (%)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>SV (%)</b>	<b>SF(%)</b>
Capim	52,77	47,23	11,82	40,95
Feno	50,86	49,14	10,97	39,89
Silagem	52,72	47,28	17,74	34,98

Os resultados encontrados revelam que a concentração de sólidos totais nas fezes referentes à dieta composta por capim (52,77 %) e silagem (52,72 %) foram semelhantes e maiores que a concentração da dieta composta por feno (50,86%). A dieta

composta por feno, por consequência, apresentou maior concentração de umidade (49,14 %).

Os dados encontrados foram superiores a outros resultados realizados com dejetos de cabras. A maior concentração de sólidos totais nas fezes de caprinos, observada por AMORIM (2002), foi de 45,9%. AGRAZ (1984), em ensaio com cabras estabuladas e em pastoreio, encontrou a concentração média de 35,4 % de ST no esterco fresco.

Este fato pode ser atribuído ao sistema de coleta das fezes, obtidas em telas de nylon, que permitiram o escoamento de urina e reduziram sua interferência na quantificação das fezes. O período entre as coletas diárias das fezes pode ter contribuído para a desidratação do material, uma vez que as em que as cíbalas ficavam expostas ao ar, aumentando a concentração de sólidos totais nos dejetos.

A análise dos resultados mostrou que as dietas influenciaram a concentração de sólidos voláteis, sendo que a dieta composta por silagem apresentou a maior concentração (17,74 %) em relação às dietas compostas por capim (11,82%) e feno (10,97%), respectivamente. Este resultado indica que as fezes de cabras alimentadas com silagem apresentam maior conteúdo de matéria orgânica. A dieta composta por silagem apresentou menor quantidade de matéria mineral (34,98 %).

#### **4.3.3 Produção de urina**

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados de produção diária de urina por animal, demonstrando que, em média, o maior volume diário de urina ( $P < 0,05$ ) foi produzido pelos animais submetidos à dieta composta por feno (1856 mL) e silagem (1638 mL), respectivamente, em relação à dieta composta por capim (1427 mL).

Com base nos resultados encontrados, pode-se inferir que a dieta influenciou o volume de urina ( $P > 0,05$ ), uma vez que os maiores volumes foram produzidos por animais que consumiram a maior quantidade de matéria seca.

TABELA 9 – Produção diária de urina por animal, em mL, para as diferentes dietas (capim, feno e silagem).

Dieta	Média diária	Dias						
		1	2	3	4	5	6	7
Capim	1427 B	1374 B	1527 B	1515 B	1530 B	1587AB	1571AB	890 B
Feno	1856 A	1777 A	2241 A	2145 A	1922 A	1520 B	1846 A	1540 A
Silagem	1638AB	1721AB	1570AB	2082 A	1767AB	1715 A	1370 B	1240AB

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Na Figura 12 está representada graficamente a produção de urina, com base na média diária produzida durante o período experimental.

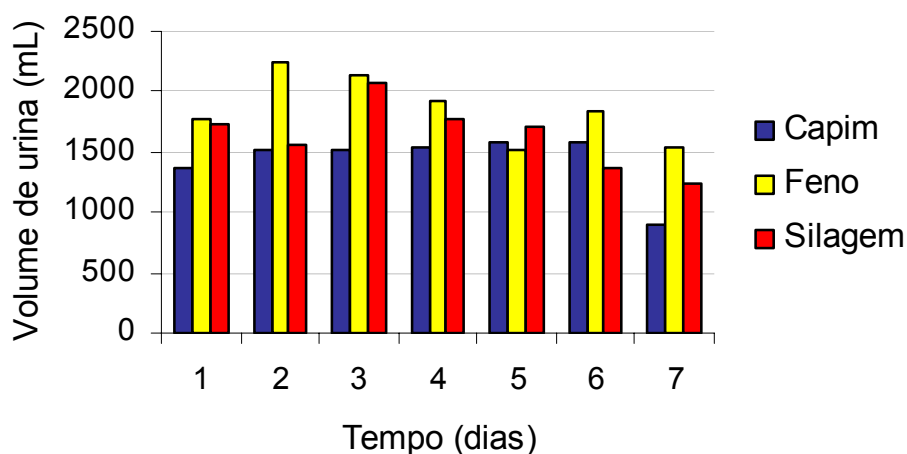


FIGURA 12 – Produção de urina das cabras durante o período experimental para as diferentes dietas (capim, feno e silagem).

Observou-se que os animais que consumiram feno produziram maior quantidade de urina (1190,46 g de MS/dia) em relação àqueles que consumiram silagem (1149,07 g de MS/dia) e capim (990,73 g de MS/dia).

Apesar dos animais estarem submetidos a ambientes térmicos semelhantes, onde o estímulo ao consumo de água poderia ser semelhante, os animais que consumiram feno produziram maior quantidade de urina. Isso se deve, possivelmente, ao fato do feno ser um material seco, que induz o animal a aumentar a ingestão de água para suprir a exigência diária.

## 4.4 Ensaio de biodigestão anaeróbia

### 4.4.1 Teores de sólidos totais e voláteis

Os teores médios de sólidos totais e voláteis, em porcentagem, no início e no final do processo de biodigestão anaeróbia, quando se avaliou o efeito das dietas na produção de biogás, bem como as reduções nos teores de sólidos voláteis, em porcentagem, estão apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 – Teores de sólidos totais voláteis e redução de sólidos voláteis, em porcentagem, para estrumes obtidos com diferentes tipos de dietas.

Dieta	ST %		SV %		Redução de SV (%)
	Inicial	Final	Inicial	Final	
Capim	7,06	2,09	2,13	1,60	24,91 C
Feno	6,97	1,88	2,52	1,53	39,13 B
Silagem	7,01	1,62	2,45	1,38	43,65 A

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Os resultados apresentaram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) entre as reduções nos teores de sólidos voláteis, quando se comparam os três tipos de substratos. Desta forma, pode-se inferir que a dieta influenciou a degradabilidade do substrato. Quando se compara as médias de redução de sólidos voláteis, observa-se que animais alimentados com a dieta composta por silagem apresentaram valor superior (43,65 %) aos dos biodigestores referentes à dieta composta por feno (39,13 %) e capim (24,91 %), respectivamente.

Esses valores foram semelhantes aos encontrados por AMORIM (2002), que estudou a influência de diferentes proporções de concentrado na alimentação de cabras leiteiras na produção de biogás. Nesse trabalho, verificou-se a redução de 45%, 34 % e 28,60 % de sólidos voláteis, quando o substrato foi formulado a partir de dejetos de cabras alimentadas com, respectivamente, 60 %, 40 % e 20 % de concentrado na dieta.

#### 4.4.2 Produção Volumétrica de Biogás

A produção volumétrica média diária a partir de substrato formulado com dejetos de cabras alimentadas com as três dietas está apresentada na Tabela 11.

TABELA 11 - Produção volumétrica média diária de biogás ( $\text{dm}^3/\text{dia}$ ) a partir de substrato formulado com dejetos de cabras, alimentadas com três tipos de volumosos (capim, feno e silagem).

Dieta	Produção Volumétrica ( $\text{dm}^3$ )
Capim	0,0228 A
Feno	0,0299 A
Silagem	0,0340 A

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Os resultados encontrados mostram que não houve diferença significativa ( $P>0,05$ ) entre as dietas avaliadas, sendo que a dieta a base de silagem ( $0,0340 \text{ dm}^3$ ) produziu maior volume diário de biogás que as dietas a base de feno ( $0,0299 \text{ dm}^3$ ) e capim ( $0,0228 \text{ dm}^3$ ), respectivamente.

Na Figura 13 está apresentada graficamente a produção volumétrica média diária de biogás ( $\text{dm}^3$ ), para cada uma das dietas, ao longo do período experimental.

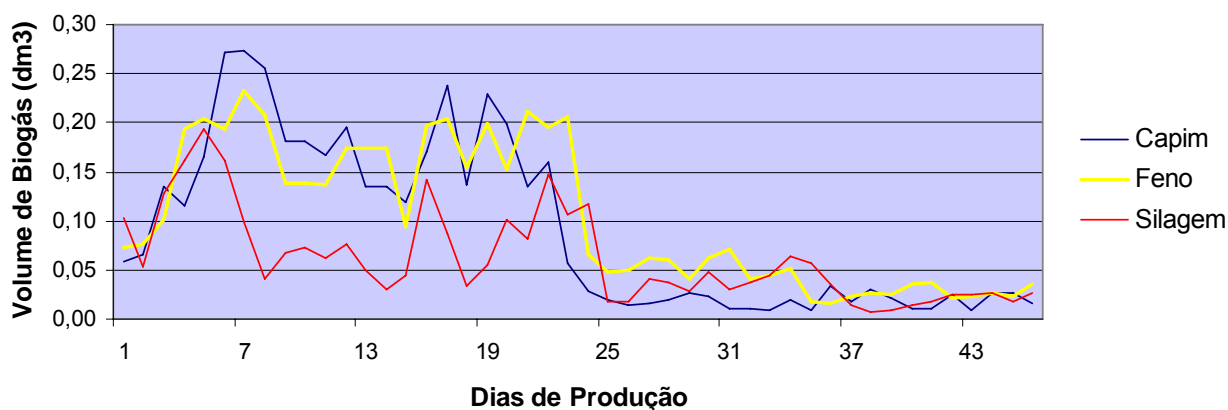


FIGURA 13 – Produção volumétrica média diária de biogás ( $\text{dm}^3/\text{dia}$ ) a partir de substrato formulado com dejetos de cabras alimentadas com três tipos de volumosos (capim, feno e silagem), durante o período experimental.

Nas quatro primeiras semanas as temperaturas variaram entre 30 e 40 °C, pois não havia o pleno controle do sistema de aquecimento da água. Nesse período, os biodigestores abastecidos com substratos formulados com fezes de animais alimentados com a dieta composta por capim apresentaram maior produção de biogás.

Entretanto, a produção de biogás reduziu significativamente para todas as dietas nas semanas seguintes, quando houve o pleno controle da temperatura a 30 °C, sendo que a dieta composta por capim apresentou a maior queda no volume de biogás produzido. Esse fato pode estar relacionado à baixa concentração de sólidos voláteis nesta dieta (11,82 %), que se esgotaram rapidamente no início do processo de produção do biogás.

A produção acumulada de biogás a partir de substrato formulado com dejetos de cabras alimentadas com as três dietas (capim, feno e silagem), em porcentagem, está apresentada graficamente na Figura 14.

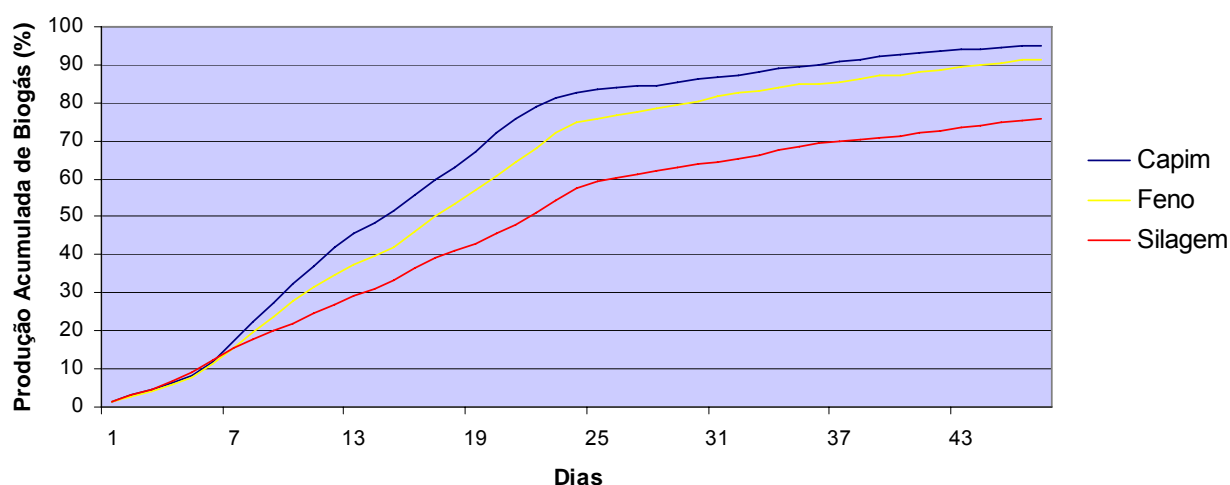


FIGURA 14 – Produção acumulada de biogás (em %) a partir de substrato formulado com dejetos de cabras, alimentadas com três tipos de volumosos (capim, feno e silagem).

Os resultados da produção acumulada de biogás indicam que na quarta semana, a partir do início da produção de biogás, haviam sido atingidos aproximadamente 70 a 90 % do total de biogás a partir das dietas a base de capim e feno, sendo estes valores superiores aos da dieta a base de silagem, que foi de aproximadamente 60%.

#### 4.4.3 Potencial de produção de biogás

Na Tabela 12 estão apresentados os valores do potencial de produção de biogás dos substratos formulados com dejetos de cabras, alimentadas com as três dietas (capim, feno e silagem).

TABELA 12 - Potencial de produção de biogás dos substratos formulados com dejetos de cabras, alimentadas com três tipos de volumosos (capim, feno e silagem).

Dieta	Potenciais (m <sup>3</sup> /kg)				
	Substrato	Dejeto	SV adic.	SV red.	ST adic.
Capim	0,0019 A	0,0150 A	0,1270 A	0,5096 A	0,0284 A
Feno	0,0018 A	0,0132 A	0,1207 A	0,4847 A	0,0260 A
Silagem	0,0016 B	0,0121 B	0,0683 B	0,2741 B	0,0230 B

Médias seguidas por pelo menos uma mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Considerando-se a produção de biogás por kg de substrato, por kg de dejeto, por kg de sólidos voláteis adicionados e por kg de sólidos voláteis reduzidos, observou-se que não houve diferença estatística significativa ( $P > 0,05$ ) entre os substratos provenientes da dieta a base de feno e capim, sendo superiores à dieta a base de silagem.

Quanto ao potencial de produção de biogás por kg de dejeto, estes valores foram menores que os relatados por LUCAS JÚNIOR (1998) para dejetos da bovinocultura (0,049 m<sup>3</sup>/kg para bovinos de leite e 0,035 m<sup>3</sup>/kg para bovinos de corte).

Considerando-se a produção de biogás por kg de sólidos totais adicionados, observou-se que os substratos provenientes da dieta a base de capim e feno produziram mais biogás (0,0284 e 0,0260 m<sup>3</sup>/kg) em relação à dieta a base de silagem (0,0230 m<sup>3</sup>/kg). Estes valores foram menores que os encontrados por AMORIM (2004), cujos valores foram, em média, 0,2680 m<sup>3</sup>/kg para cabras alimentadas com 60% de concentrado na dieta.

Em relação a outras espécies, esse valor também foi menor que os demais. O potencial médio de produção de biogás a partir de camas de frango, relatado por SANTOS (1998), variou entre 0,21 e 0,2490 m<sup>3</sup>/kg de sólidos totais adicionados.

#### 4.4.4 Composição do biogás produzido

As concentrações de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no biogás produzido a partir do substrato das três dietas estão apresentadas na Tabela 13.

TABELA 13 - Concentração semanal de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no biogás produzido do substrato das três dietas oferecidas às cabras.

Semana	Capim		Feno		Silagem	
	% CO <sub>2</sub>	% CH <sub>4</sub>	% CO <sub>2</sub>	% CH <sub>4</sub>	% CO <sub>2</sub>	% CH <sub>4</sub>
1	38,20	61,80 A	36,66	63,34 A	33,60	66,40 A
2	15,82	84,18 B	28,44	71,56 A	20,28	79,72 AB
3	22,21	77,79 A	25,97	74,03 A	23,01	76,99 A
4	15,45	84,55 A	12,29	87,71 A	11,85	88,15 A
5	22,28	77,72 A	31,60	68,40 A	25,17	74,83 A
6	16,75	83,25 A	15,32	84,68 A	16,78	83,22 A

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Verificou-se que, não houve diferença significativa entre concentrações de metano das diferentes dietas, exceto na segunda semana de observação. A concentração semanal de metano teve o valor mínimo 61,80% na primeira semana de observação e valor máximo de 88,15% na terceira semana.

A representação gráfica das concentrações médias de metano a partir de substrato formulado com dejetos de cabras alimentadas com três tipos de volumosos (capim, feno e silagem) encontra-se apresentadas na Figura 15.

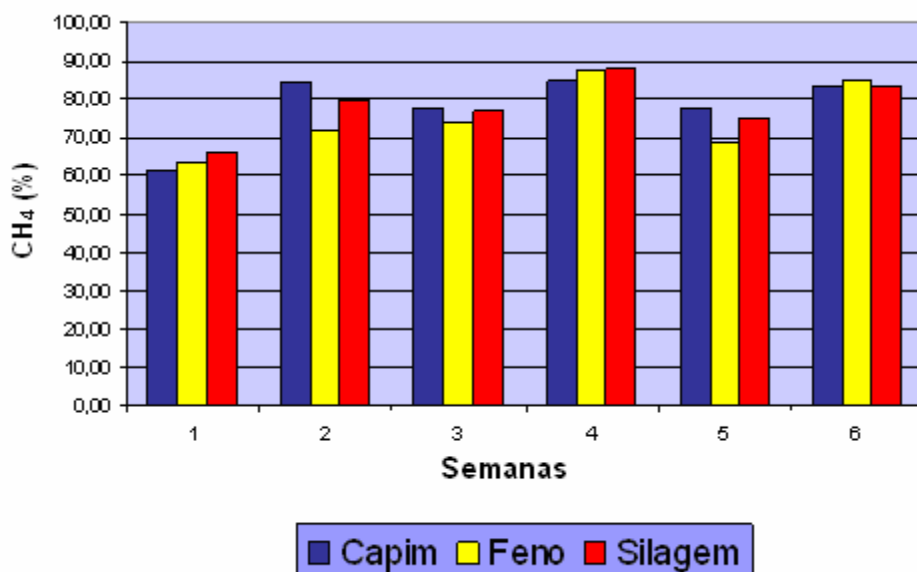


FIGURA 15 - Concentrações médias de metano (%) a partir de substrato formulado com dejetos de cabras alimentadas com três tipos de volumosos (capim, feno e silagem).

A concentração média de metano no biogás formulado a partir de substrato formulado com dejetos de cabras alimentadas com as três dietas e aquecido a 30°C foi semelhante aos valores encontrados por AMORIM (2002), o qual apurou que a concentração de metano no verão foi, em média, de 61 % na primeira semana de produção, cujo valor máximo foi de 88,31 %.

## 5. CONCLUSÕES

Considerando-se a forma de condução do presente trabalho e os resultados encontrados, conclui-se que:

- 1) Houve diferença nas características dos dejetos de acordo os diferentes tipos de dietas, sendo que os animais que consumiram as dietas a base de feno e silagem produziram mais fezes, contendo estas uma maior concentração de sólidos voláteis e mais urina.
- 2) O fornecimento de silagem na alimentação proporcionou melhores reduções de sólidos voláteis (43,65%) durante o processo de biodigestão anaeróbia. No entanto, a produção volumétrica de biogás e o potencial de produção foram maiores nos biodigestores abastecidos com substrato formulado a partir de dejetos provenientes das cabras alimentadas a base de feno (0,4847 m<sup>3</sup>/kg de sólidos voláteis reduzidos) e capim (0,5096 m<sup>3</sup>/kg de sólidos voláteis reduzidos).
- 3) O volumoso de melhor qualidade, a silagem, não ofereceu vantagem quanto à produção de biogás (0,0230 m<sup>3</sup>/kg de sólidos totais adicionados).
- 4) Não houve diferença significativa na concentração de metano do biogás gerado a partir das diferentes dietas (capim, silagem e feno).

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGRAZ, G., A.A. **Caprinotecnia 2**. México: Limusa, 1989. 1212 p.
2. AL-MASRI, M.R. Changes in biogas production due to different ratios and some animals and agricultural wastes. **Bioresource Technology**, Oxford, v.77, n.1, p. 97 – 100, 2001.
3. ALVES, F.S.F. e PINHEIRO, R.R. **O esterco caprino e ovino como fonte de renda**. EMBRAPA Caprinos. 2002. Disponível em: <<http://www.capritec.com>> Acesso: 23 de junho de 2004.
4. AMORIM, A.C. **Caracterização de dejetos caprinos: reciclagem energética e de nutrientes**. Tese de mestrado. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal: UNESP, 2002.
5. ANDRIGUETTO, J.M. ... (et al.). **Nutrição animal**. Alimentação animal (Nutrição animal aplicada). v. 2. 3.ed. São Paulo: Nobel, 1983.
6. ANUÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA - **ANUALPEC**, 2004. São Paulo, 2004.
7. APHA - **Standard methods for the examination of water and wastewater**. New York: APHA, WWA, WPCR. 19<sup>a</sup> ed.1995.
8. AXAOPOULOS, P. Energy and economic analysis of biogas heated livestock buildings. **Biomass and Energy**. Agricultural University of Athens. 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>> Acesso em 27 de março de 2005.
9. BAÊTA, F.C., SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais – conforto animal**. Viçosa: UFV, 1997. 246p. : il.
10. BORGES, C.H.P. e BRESSLAU, S. **Produção de leite de cabra em confinamento**. VI Simpósio de Pecuária do Nordeste – PECNORDESTE. III Semana da Caprino-ovinocultura Brasileira. Anais... João Pessoa: 2003.
11. BOUWMAN, A.F. et al. Exploring changes in world ruminant production systems. **Agricultural Systems**, Essex, n. 2, p. 121-153, mai. 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 18 mar. 2005.
12. BRASIL, L.H.A. *et al.* **Efeitos do Estresse Térmico Sobre a Produção, Composição Química do Leite e Respostas Termorreguladoras de Cabras da Raça Alpina**. Rev. Bras. Zootec. vol.29 no.6 Viçosa Nov./Dec. 2000.
13. CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. Tese de mestrado. 75p. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Botucatu: UNESP, 1985.
14. CARVALHO, S. **Desempenho e comportamento ingestivo de cabras em lactação alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de fibra**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: UFV, 2002. 118p.
15. CHANAKYA, H. N. *et al.*, Fermentation and methanogenic characteristics of leafy biomass feedstocks in a solid phase biogas fermentor. **Bioresource Technology** (1997) 71-78. Indian Institute of Science, Department of Chemical Engineering, Bangalore.

16. CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios**. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: biodigestores anaeróbios). 246 p. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG, 1997.
17. CORBITT, R.A. **Standard Handbook of Environmental Engineering**. 1st edition. New York: McGraw Hill, Inc. 1990.
18. COSTA, A.L. **Leite caprino: um novo enfoque de pesquisa**. EMBRAPA Caprinos. Disponível em: <[www.caprítec.com](http://www.caprítec.com)> Acesso: 23 de junho de 2004)
19. CURTIS, S.E. **Environmental management in animal agriculture**. Iowa: The Iowa State University Press / Ames, 1983.
20. DIETZ, W.A. **Response factors for gás chromatographic analyses**. J. Gás Chromatogr. 5, 68-71, 1967.
21. DORIGAN, C.J. *et al.* Digestibilidade *in vivo* dos nutrientes de cultivares de amoreira (*Morus alba* L.) em caprinos. **Cienc. Rural**. Vol.34 no.2 Santa Maria Mar./ Abril 2004.
22. DUKES, H.H. **Fisiologia de los animales domésticos**. 3 ed. , 1973. 559p.
23. ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. Environmental Engineering in Agriculture and Food Series. The AVI Publishing Company, Inc. 1969. 325 p.
24. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – **FAO**. Foro eletrônico em biotecnologia em comida e agricultura e agricultura: conferência. Tendências em Agricultura Animal em países em desenvolvimento. 12 de junho – 25 de agosto de 2000. Disponível em: <<http://www.apps.fao.org>> Acesso em: 18 mar. 2004.
25. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – **FAO**. Situación de los mercados de productos básicos. 1997-1998. Disponível em: <<http://www.fao.org>> Acesso em: 18 mar. 2004.
26. HAFEZ, E.S.E. **Adaptation of domestic animals**. Washington: Washington State University: 1968. 415p.
27. HARDOIM, P.C. **Efeito da temperatura de operação e da agitação mecânica na eficiência da biodigestão anaeróbia de dejetos bovinos**. 88f. Tese de doutorado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Jaboticabal: UNESP, 1999.
28. INFORMATION AND ADVISORY SERVICE ON APPROPRIATE TECHNOLOGY – ISAT. **Biogás digest**. Volume I. Biogás basics, 1988.
29. JARDIM, W.R. **Criação de caprinos**. 3. ed. São Paulo: Livraria Nobel, 1977. 239p.
30. JOCKMAN, A. **Perspectivas para investimentos de projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo**. 2004. In: Revista ECO 21. Disponível em: <[www.eco21.com.br](http://www.eco21.com.br)>. Acesso em 20 jan. 2006.
31. KARIM, K., *et al.* Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mixing. 2002. **Bioresource Technology**. Dezembro 2004. Disponível em: <<http://www.elsevier.com>> Acesso em 27 de março de 2005.
32. KARPENSTEIN-MACHAN, M. Sustainable Cultivation Concepts for Domestic Energy Production from Biomass. **Critical Reviews in Plant Sciences**. Volume 20, Issue 1, Pages 1-14. Germany: Institute of Crop Science, University of Kassel. 2002.

33. LUCAS JR., J. **Algumas considerações sobre o uso de estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 137f. Tese de mestrado. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal: UNESP, 1994.
34. LUCAS JR., J. *et al.* Avaliação do uso de inoculo no desempenho de biodigestores abastecidos com estrume de frangos de corte com cama de maravalha. In: Congresso brasileiro de Engenharia Agrícola, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBEA/CEPLAC, 1993. v. 2, p. 915-930.
35. LUCAS JÚNIOR, Jorge de. Aproveitamento energético de resíduos da bovinocultura. In: XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. 1998: Poções de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. 256 p., p.76-81.
36. MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás: um projeto de saneamento urbano**. São Paulo: Nobel, 1986.
37. MATOS, A.T. **Poluição ambiental e seus efeitos**. Brasília: ABEAS: Viçosa: DEA/UFV. 2001. 121p (ABEAS. Curso Uso racional dos recursos hídricos naturais e seus reflexos no meio ambiente. Módulo 6).
38. MATTOS, W.R.S. Confinamento de bovinos leiteiros. In: Faria, V.P. (coord.). **Produção de leite: conceitos básicos**. Piracicaba: FEALQ, 1988, p.81-86.
39. MOFFITT, D. Waste management and recycling of organic matter. p.163-187. **CIGR Handbook of agricultural engineering**. Volume 2. Animal Production and aquacultural engineering. Edited by: CIGR – The International Commission of Agricultural Engineering, 1999.
40. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Predicting feed intake of food-producing animals**. Washington, 1987. 85p.
41. PINHEIRO, R.R. *et al.* **Aspectos epidemiológicos da caprinocultura cearense**. Arq. Bra. Méd. Vet. Zootec., v.52, n.5, p.534-543, 2000.
42. **PROTOCOLO DE KYOTO**. Conferência das Partes da Convenção sobre mudança do clima. Disponível em <[www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)>. Acessado em 20 de jan. 2006.
43. RIBEIRO, S.D.A. **Caprinocultura: criação racional de caprinos/** São Paulo: Nobel, 1998.
44. SANTOS, T. M. B. **Balço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte**. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências agrárias e veterinárias. Jaboticabal: UNESP, 2001.
45. SILVA, Dirceu Jorge e QUEIROZ, Augusto César de. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. – Viçosa: UFV, 2002. 235p.: il.
46. SILVA, J.H.V. **Comportamento alimentar de cabras em confinamento**. Tese de mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: UFV, 1991. 62p.
47. Sistema de Análises Estatísticas - **SAEG**. V.9.0. Funarbe: Viçosa, 2005.
48. SOUTY, J.C. Recycling of organic matter. p. 187-196. **CIGR Handbook of agricultural engineering**. Volume 2. Animal Production & aquacultural

engineering. Edited by: CIGR – The International Commission of Agricultural Engineering, 1999.

49. SOUZA, C.F. **Biodigestão anaeróbia de dejetos suínos**: obtenção de dados e aplicação no desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação da produção de biogás. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências agrárias e veterinárias. Jaboticabal: UNESP, 2001.
50. STEIL, L. **Avaliação do uso de inóculo na digestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos**. 108 p. Tese de Mestrado–Araraquara: Universidade Estadual Paulista, 2001.
51. Van HORN, H.H., WILKIE, A.C., POWERS, W.J., NORDSTEDT, R.A. Components of dairy manure management systems. **Journal Dairy Science**, Savoy, v. 77, n.7, p. 2008 – 2030, 1994.
52. WERNER, Uli *et al.* **Biogás plants in animal husbandry**. Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien - GATE, a Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH – 1989.
53. YADVICA, S. et al. Enhancement of biogás production from solid substrates using different techniques – a review. **Bioresource Technology**, Essex v. 95, n. 1, p. 1-10. 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>> Acesso em 27 de março de 2005.