

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS E ECONÔMICAS DA  
PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO DEJETOS DE  
CABRAS LEITEIRAS**

**Bruno Biagioli**

Zootecnista

**Orientador: Prof. Dr. Kléber Tomás de Resende**

**Co-orientadora: Dra. Márcia H. M. da R. Fernandes**

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS E ECONÔMICAS DA  
PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO DEJETOS DE  
CABRAS LEITEIRAS**

**Bruno Biagioli**

**Orientador: Prof. Dr. Kléber Tomás de Resende**

**Co-orientadora: Dra. Márcia Helena Machado da Rocha Fernandes**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

**2013**

Biagioli, Bruno  
B576c Características fermentativas e econômicas da produção de biogás utilizando dejetos de cabras leiteiras. / Bruno Biagioli. – – Jaboticabal, 2013  
xi, 53 p.: Il.; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013

Orientador: Kléber Tomás de Resende

Co- Orientador: Márcia Helena Machado da Rocha Fernandes

Banca examinadora: Jorge de Lucas Júnior, João Antônio Galbiatti, Silvio Doria de Almeida Ribeiro, Heraldo César Gonçalves  
Bibliografia

1. Biodigestor. 2. Dejetos. 3. Metano. 4. Temperatura. 5. Produção de biogás. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.3:661.9

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

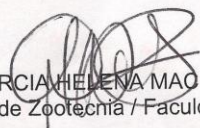
**TÍTULO:** CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS E ECONÔMICAS DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO DEJETOS DE CABRAS LEITEIRAS

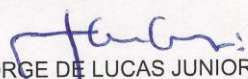
**AUTOR:** BRUNO BIAGIOLI

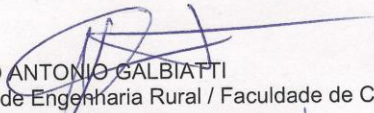
**ORIENTADOR:** Prof. Dr. KLEBER TOMAS DE RESENDE

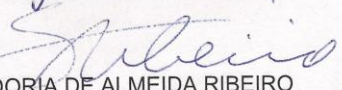
**CO-ORIENTADORA:** Profa. Dra. MÁRCIA HELENA MACHADO DA ROCHA FERNANDES

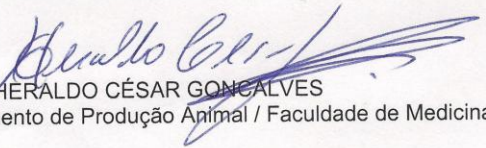
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM ZOOTECNIA , pela Comissão Examinadora:

  
Profa. Dra. MÁRCIA HELENA MACHADO DA ROCHA FERNANDES  
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dr. JORGE DE LUCAS JUNIOR  
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dr. JOAO ANTONIO GALBIATTI  
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dr. SILVIO DORIA DE ALMEIDA RIBEIRO  
Consultor Técnico / Juazeiro/BA

  
Prof. Dr. HERALDO CÉSAR GONÇALVES  
Departamento de Produção Animal / Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu

Data da realização: 13 de agosto de 2013.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**BRUNO BIAGIOLI** – filho de Carlos Eduardo Ferreira Biagioli e Maria Eunice da Silveira Biagioli, nasceu em 22 de dezembro de 1980 na cidade de Araraquara, estado de São Paulo. Formou-se Zootecnista pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, campus de Jaboticabal, em julho de 2005. Trabalhou 2 anos como consultor em bovinocultura de corte, na mesma cidade. Ingressou em 2007 no programa de pós-graduação em Zootecnia a fim de obter o título de mestre, que lhe foi concedido sob do Prof. Dr. Kleber Tomás de Resende. Em 2009, sob a mesma orientação, iniciou seu doutoramento, trabalhando com biodigestores. Em 2012 iniciou sua carreira como funcionário público e em 2013 terminou seus estudos obtendo o título de doutor em Zootecnia.

"Our understanding of the molecular basis of biology shows that biological processes are governed by the laws of physics and chemistry and therefore are as determined as the orbits of the planets. It is hard to imagine how free will can operate if our behavior is determined by physical law, so it seems that we are no more than biological machines and that free will is just an illusion."

**Stephen Hawking and Leonard Mlodinow**

The Grand Design.

## **DEDICO**

A minha família, Carlão, meu pai, Maria Eunice, minha mãe,  
Gustavo e Mariana, irmãos amados, Melina Bonato, companheira amada.  
Fazemos escolhas, como em um jogo de perguntas e respostas, cada resposta ou  
ação, tem sua reação e consequências, lide com isso!

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista Campus de Jaboticabal e ao Departamento de Zootecnia pela oportunidade de realização da graduação, mestrado e doutorado em Zootecnia.

Ao CNPq pelo apoio financeiro, que permitiu aprendizagem e aperfeiçoamento na minha área de atuação.

Ao meu orientador Kleber Tomás de Resende por ter me aceitado no mestrado e acreditado no meu potencial, pelos ensinamentos transmitidos para o desenvolvimento desse trabalho, além da amizade, paciência e confiança. Instruções de vida, essas são as mais valiosas e que poucos têm o mérito para transmitir. Ensinamentos que se tornam uma doutrina passada a todos ao redor.

À Izabelle A. M. A. Teixeira, minha “mãe” científica, aquela que mais que qualquer um acreditou em mim, que é a responsável pelo meu crescimento científico e pessoal, uma citação a define “A good man draws a circle around himself and cares for those within – his woman, his children. Other men draw a larger circle and bring within their brothers and sisters. But some men have a great destiny. They must draw around themselves a circle that includes many, many more.”

À Marcia Helena, que sempre foi presente e que contribuiu imensamente no meu amadurecimento profissional, obrigado pela paciência, conselhos e dedicação, obrigado principalmente por nos socorrer quando tudo parece turvo.

Aos companheiros da caprino, Carlos Conte e Oswaldo Ferrari, a Cabritolândia/Ruminesp, pela amizade, companheirismo, churrascos, brigas, crescimento e oportunidades para errar e aceitar o erro.

Aos alunos do prof. Jorge de Lucas e funcionários do Departamento de Engenharia, pela paciência e ajuda nos ajustes técnicos.

Aos funcionários do LANA pela paciência e auxílio nas análises.

Enfim a todos que colaboraram para que eu chegasse até aqui e que contribuíram para que eu continue daqui!

**OBRIGADO!!!!**

## SUMÁRIO

	<b>páginas</b>
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	2
2.1. O biodigestor .....	3
2.2. O biogás .....	5
2.3. A biomassa .....	8
2.4. Temperatura afetando a fermentação anaeróbia .....	11
2.5. pH .....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	12
3.1. Local .....	12
3.2. Descrição do experimento e delineamento experimental.....	13
3.3. Avaliação do biogás produzido .....	18
3.4. Caracterização dos sólidos do afluente e efluente .....	19
3.5. Cálculo do potencial de produção de biogás.....	19
3.6. Análise estatística .....	19
3.7. Viabilidade econômica da implantação de um sistema de tratamento de dejetos.....	20
3.7.1. Descrição da propriedade .....	21
3.7.2. Sistema de Criação.....	22
3.7.3. Equipamentos e instalações .....	23
3.7.4. Cultura milho para silagem.....	23
3.7.5. Sistema de aproveitamento energético .....	24
3.7.6. Viabilidade econômica .....	25
3.7.7. Receitas e despesas.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1. A produção de biogás .....	27
4.2. Análise econômica .....	39
5. CONCLUSÃO.....	42
6. REFERÊNCIAS.....	43

## LISTA DE FIGURAS

	<b>páginas</b>
Figura 1: Seqüência metabólica e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia de material orgânico, adaptado de AMARANTE (2010). .....	7
Figura 2: (A) Foto ilustrativa da disposição dos biodigestores dentro da sala de aquecimento, com indicação do biodigestor, gasômetro e selo d'água; (B) Cortes transversais e dimensões do biodigestor e gasômetros utilizados no experimento.....	14
Figura 3: Abastecimento do biodigestor na sala de aquecimento após quantidade de sólidos e pH corretos para o tratamento.....	16
Figura 4: Distribuição dos tratamentos experimentais após aplicação da ferramenta estatística Central Composite Design.....	17
Figura 5: (A) A produção de biogás (m <sup>3</sup> acumulada em 49 dias), em diferentes temperaturas e valores de sólidos totais, e (B), a produção de biogás de acordo com o pH e teor de sólidos totais. ....	30
Figura 6: Produção de biogás (m <sup>3</sup> ) no período experimental em diferentes temperaturas com o mesma porcentagens de sólidos totais e pH (A), diferentes porcentagens de sólidos totais e pH e com o mesma temperaturas (B, C e D). ....	32
Figura 7: Produção acumulada de biogás em porcentagem do total acumulado em diferentes temperaturas com o mesma porcentagens de sólidos totais e pH (A), diferentes porcentagens de sólidos totais e pH e com o mesma temperaturas (B, C e D). ....	34
Figura 8: Produção de metano (%) no período experimental em diferentes temperaturas com o mesma porcentagens de sólidos totais e pH (A), diferentes porcentagens de sólidos totais e pH e com o mesma temperaturas (B, C e D). ....	35
Figura 9: Gráfico do resíduo versus predito para produção acumulada de biogás. ..	38
Figura 10: Gráfico de resíduo versus predito para porcentagem de metano no biogás.....	39

**LISTA DE TABELAS**

	<b>páginas</b>
Tabela 1: Tabela de composição do rebanho caprino no ciclo anual.....	23
Tabela 2: Lista de equipamentos comuns para as propriedades simuladas e seus respectivos valores individuais. ....	23
Tabela 3: Lista de equipamentos utilizados para implantação do sistema sustentável para as propriedades simuladas e seus respectivos valores individuais. .	24
Tabela 4: Receitas esperadas para os sistemas de produção sustentáveis e não sustentáveis .....	26
Tabela 5: Tabela de custos operacionais efetivos anuais e depreciação para os sistemas novo e novo sustentável, reformado e reformado sustentável ..	26
Tabela 6: Temperaturas previstas pelo delineamento e temperaturas atingidas durante o experimento nas salas experimentais. ....	27
Tabela 7: Tabela de significância dos fatores estudados utilizados na equações de predição da produção diária e acumulada e metano.....	36
Tabela 8: Resumo dos resultados obtidos para as propriedades simuladas. ....	40

## CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS E ECONÔMICAS DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO DEJETOS DE CABRAS LEITEIRAS

**RESUMO** – Muitos fatores interferem na produção de biogás, mas pouco se sabe como eles interagem entre si ou qual é a melhor combinação entre eles. O objetivo deste estudo foi buscar a melhor combinação de fatores que podem ser manipulados a fim de otimizar a produção de biogás e também desenvolver equações capazes de prever a produção de biogás e a produção de metano do dejetos caprino. Para avaliar a digestão anaeróbia de dejetos de cabras foram utilizados 24 biodigestores distribuídos em esquema fatorial 3x3x3x2, e considerados os seguintes fatores: temperatura (20,11°C; 21,48°C; 30,24°C; 33,74°C e 34,67°C); pH (6,8; 6,84; 7,0; 7,15; 7,22); sólidos totais (2,63%; 3,53%; 4,46%; 6,85%; 6,87%) e da forma do dejetos (cábalas inteira e cábalas quebradas) em um desenho experimental composto central, submetidos a 49 dias de fermentação. A produção de biogás foi significativamente dependente da interação entre temperatura, pH e sólidos totais, cujo melhor volume de produção de biogás foi obtido nas condições de 34,67 °C; pH 7 e 6,87% de sólidos totais, respectivamente, as equações de predição de biogás e metano podem ser utilizadas como forma de manejo e gerenciamento do capril.

**Palavras-chave:** biodigestor, dejetos, metano, pH, produção de biogás, temperatura.

## FERMENTATIVE AND ECONOMIC CHARACTERISTICS OF BIOGAS USING WASTE OF MILK GOATS

**ABSTRACT** -. Many factors affect the production of biogas, but is unknown how they interact each other or what is the best combination of then. The aim of this study was to seek the best combination of factors that can be manipulated to optimize biogas production and also develop equations capable of predicting the production of biogas and methane production of goat manure. To evaluate the anaerobic digestion of manure from goats, 24 digesters were used in a factorial scheme 3x3x3x2, and considered the following factors: temperature (20.11° C, 21.48° C, 30.24° C, 33.74° C and 34.67° C), pH (6.8, 6.84, 7.0, 7.15, 7.22), total solids (2.63%, 3.53%, 4.46%, 6.85%, 6.87%) and the form of manure (feces broken and whole) in a central composite design, submitted to 49 days of fermentation. The biogas production was significantly dependent on the interaction between temperature, pH and total solids, whose best volume of biogas production was achieved under the conditions of 34,67 ° C, pH 7 and 6.87% total solids, respectively, the equations prediction of biogas and methane can be used as a form of management and administration of the goat culture.

**Keywords:** digester, manure, methane, pH, biogas production, temperature

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda mundial por alimentos levou à intensificação dos sistemas de produção animal, o que resultou em grande concentração de resíduos em algumas áreas com conseqüente contaminação do ar, solo, águas subterrâneas e proliferação de doenças (WESTERMAN, 2005; VENGLOVSKY, 2006). Biodigestores surgiram, no Brasil por volta de 1970, para gerar energia sob a forma de metano e como uma alternativa para o tratamento destes resíduos, contribuindo para maior eficiência dos sistemas de produção.

Dejetos sem tratamento são poluentes devido à presença de compostos passíveis de serem digeridos, ou degradados, que quando estão no solo, não são prontamente aproveitados para o crescimento de plantas, por exemplo. A dieta dos pequenos ruminantes são à base de forragem e, em média, apenas 70% dessa são realmente digeridos por estes animais (CSIRO, 2007). O restante dos 30% pode ser submetido à fermentação anaeróbia resultando na produção de biogás, o que representa potencial fonte de energia.

Sabe-se que fatores como temperatura, pH, relação carbono/nitrogênio, os níveis de sólidos totais, a quantidade e a taxa de crescimento de bactérias, e o volume de biomassa interferem na fermentação anaeróbica e produção de biogás (CIOABLA, 2012), no entanto, ainda não é totalmente compreendido como todos esses fatores interagem, afetando a fermentação. Alguns fatores podem ser manipulados pelo homem de forma benéfica à produção de biogás, como a quantidade de água e a forma e o tamanho do substrato, por outro lado, alguns são complicados de se manipular como a temperatura, que experimentalmente pode ser controlada, mas no campo, com as dimensões dos biodigestores, é uma tarefa que se torna bastante complicada.

A forma física do substrato, principalmente quando levado em consideração as excretas dos animais, apresentam formas distintas. Sabe-se que quanto maior a área de superfície, mais favorável é a colonização dos microrganismos e conseqüentemente maior taxa de fermentação é observada (GOES, 2011). No caso dos dejetos de caprinos, cujas fezes são em forma de cíbalas, podem ocorrer

problemas operacionais, devido à flutuação das mesmas em meio aquoso, dificultando o escape do biogás, ou mesmo retardando a degradação das fezes pelas bactérias. Assim, esse dejetos pode ser previamente manipulado antes da entrada no biodigestor, modificando sua forma (cíbalas inteiras ou quebradas) ou o teor de sólidos, o que maximizaria a produção de biogás. Entretanto a forma e o teor de sólidos dos dejetos utilizados no abastecimento de biodigestores, visando à otimização da produção de biogás, ainda não foram totalmente estabelecidas.

Diante do exposto é evidente a escassez de informação, principalmente no tocante sobre como a interação entre temperatura ambiente e dos fatores mais facilmente manipuláveis pelo homem como pH, teor de sólidos totais e forma do dejetos irá afetar a produção de biogás. Assim, o objetivo deste estudo foi obter a melhor combinação de fatores (temperatura, pH, teor de sólidos totais e formato de fezes) que podem ser manipulados, a fim de otimizar a produção de biogás e avaliar o impacto da implantação de um sistema de biodigestor na implantação de uma caprinocultura no estado de São Paulo.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

Associado à crescente demanda pela produção de alimentos, está o aumento na necessidade de avaliação dos impactos provocados pela agropecuária no meio ambiente. No que se refere à produção de alimentos de origem animal, observa-se que as formas empregadas para atendimento da demanda têm levado ao aumento na intensificação das unidades produtoras e à centralização dessas atividades (LUCAS JÚNIOR, 1994). Como consequência, há elevada geração de resíduos de origem animal em determinadas regiões e que, quando manejados inadequadamente, podem colocar em risco a saúde das pessoas e dos animais devido à contaminação do ambiente, lençóis freáticos e ar; disseminação de doenças; entre outros (WESTERMAN, 2005; VENGLOVSKY, 2006).

Por outro lado, a incorporação de técnicas para o tratamento e reciclagem dos resíduos gerados na atividade pode representar alternativa viável em termos

ambientais e econômicos. A reciclagem dos nutrientes contidos nos dejetos pode reduzir o impacto do acúmulo destes no ambiente e se tornar importante fonte de agregação de valor por meio da transformação de material sem valor econômico em duas bases para o desenvolvimento sustentável: energia renovável e fertilizante orgânico (LUCAS JÚNIOR, 1994), obtidos, por exemplo, pelo uso de biodigestor.

O biodigestor pode ser usado como ferramenta tecnológica para o desenvolvimento sustentável, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida das pessoas, apresentando inúmeros benefícios como a geração de energia por meio do biogás e o aumento da produção de alimentos para as pessoas e animais, com o uso do biofertilizante em hortas, pomares e áreas destinadas a alimentação animal. Além destes, pode-se citar alguns benefícios indiretos como a melhoria das condições de higiene para os animais e as pessoas, diminuindo a mortalidade dos animais, a contaminação do ambiente por microrganismos nocivos e a proliferação de moscas, e o conseqüente aumento da produção de leite, do ganho de peso e da qualidade dos produtos; entre outros benefícios (QUADROS, 2007).

De forma geral, a implantação de biodigestores em qualquer propriedade de criação animal agrega vantagens econômicas e ambientais, principalmente quando levada em consideração a importância da criação de pequenos ruminantes no desenvolvimento de zonas rurais, sobretudo para pequenos produtores de países em desenvolvimento como o Brasil (DUBEUF, 2004).

## **2.1. O biodigestor**

Biodigestor, segundo Ferreira (1986), é o equipamento onde se realiza controladamente, a fermentação anaeróbica de biomassa, a fim de se obter biogás.

Apesar da primeira instalação conhecida, cujo objetivo era a produção de gás combustível, só tenha surgido na segunda metade do século XIX, o biogás já era conhecido quando o italiano Alessandro Volta descobriu que o gás metano já existia misturado ao, então chamado, "gás dos pântanos", como consequência do apodrecimento de restos orgânicos em ambientes anaeróbios. Posteriormente, 30 anos mais tarde, em 1806, Humphrey Davy, na Inglaterra, identificou um gás com carbono e dióxido de carbono, resultante da decomposição de dejetos animais (GASPAR, 2003).

Em 1857, em Bombaim, Índia, a primeira instalação com a finalidade de produzir gás combustível foi construída para um hospital. Em 1890, Donald Cameron desenhou uma fossa séptica para a cidade de Exeter, Inglaterra, onde o gás produzido era utilizado na iluminação pública (BOND, 2011).

A pesquisa e o desenvolvimento de biodigestores ampliaram-se na Índia, e tais pesquisas resultaram em grande expansão dessa metodologia como forma de tratar os dejetos animais obtendo biogás e fertilizante como produtos finais (GASPAR, 2003).

A China começou a adotar esta tecnologia a partir de 1958 por questões militares, e foi durante a segunda guerra mundial e a guerra fria que a difusão dessa tecnologia possibilitou uma vantagem estratégica, uma vez que se a fonte principal de fornecimento de energia fosse bombardeada e interrompida, com o uso de biogás os moradores não ficariam desabastecidos de fonte de calor. Posteriormente, em 1973, a crise energética levou ao aumento no preço do petróleo impulsionando o desenvolvimento e uso de alternativas a este; sendo que a utilização de biodigestores passou a ser uma alternativa adotada tanto por países ricos como países de terceiro mundo (BOND, 2011).

Existem diferentes tipos de biodigestor, mas, em geral, todos são compostos de duas partes: um recipiente para abrigar e permitir a digestão da biomassa e o gasômetro ou campânula, para armazenar o biogás. Em relação ao abastecimento de biomassa, o biodigestor pode ser contínuo, com abastecimento diário de biomassa, com descarga proporcional à entrada de biomassa, ou intermitente ou de batelada, quando sua capacidade máxima de armazenamento de biomassa é completa, retendo-a até biodigestão total, quando retiram-se os restos da digestão e faz-se nova carga.

Biodigestores de carga contínua se adequam bem ao sistema de produção onde os dejetos são produzidos diariamente, como o caso da bovinocultura de leite ou suinocultura, onde a produção de biogás é constante e o aproveitamento da biomassa para produção de biogás não é total, pois nem todo sólido possível de fermentação é fermentado.

Os biodigestores em batelada são bastante indicados para tratamento daqueles resíduos que são disponíveis em determinadas épocas, como por

exemplo, a cama de frango, que é disponível após a retirada do lote de aves do galpão, e a produção de biogás é descontínua; ou seja, apresenta um pico de produção e diminuição da produção ao longo do tempo, porém o aproveitamento da biomassa é total, uma vez que a biomassa fica fermentando por mais tempo. Outro uso para biodigestores tipo batelada é em pesquisa, possibilitando conhecer o potencial total de produção de biogás de determinado substrato, pois este é fermentado por completo.

Hoje existem outros formatos e materiais que os biodigestores são construídos, possibilitando o barateamento e difusão da tecnologia, mas é sempre respeitada a classificação entre contínuo e batelada.

## **2.2. O biogás**

O biogás basicamente é composto de uma mistura de gases contendo principalmente metano e dióxido de carbono, encontrando-se ainda em menores proporções gás sulfídrico e nitrogênio. Esses gases trazem grande preocupação devido ao seu tempo de vida na atmosfera e seu potencial de aquecimento global com relação ao  $\text{CO}_2$  (o  $\text{CO}_2$  é o principal gás do efeito estufa, por isso foi eleito como sendo índice 1 para o aquecimento global, e os demais gases são comparados a ele). Segundo a UNFCCC (2006), para o  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  e os respectivos potenciais de aquecimento global iguais a 21 e 310, ou seja, 21 e 310 vezes mais danoso que o  $\text{CO}_2$ .

Uma das formas que tem sido utilizada para evitar que esses gases causem o efeito estufa é por combustão, sendo que nesses casos o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) são convertidos em dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e quando puros e em condições normais de pressão e temperatura, possuem poder calorífico de 9,9 kWh/m<sup>3</sup>. Por outro lado, o biogás, com teor de metano entre 50 e 80%, terá poder calorífico inferior, entre 4,95 e 7,92 kWh/m<sup>3</sup> (COLDEBELLA, 2008), caracterizando-se assim como interessante alternativa para diminuição do efeito estufa provocada pela emissão de metano.

No meio rural, o metano é mais comumente encontrado onde há concentração de ruminantes, devido à eructação destes animais e em locais onde o esterco é mal manejado. O esterco pode ser manejado de várias formas de acordo

com a conveniência e o tipo de sistema de produção adotado. A digestão anaeróbia utilizando biodigestor é uma das principais técnicas existentes para o tratamento dos resíduos e representa um método bastante acessível, promovendo a geração do biogás, como fonte de energia alternativa, e do biofertilizante como fonte de adubo (SAHA, 1994).

Outra importante vantagem do tratamento dos dejetos em biodigestores anaeróbios é a redução do número de patógenos no produto final, uma vez que a deposição de dejetos no solo pode resultar em contaminação e poluição do mesmo e dos recursos hídricos (VENGLOVSKY, 2006), erradicando o mau cheiro, proliferação de moscas e diminuindo o número de parasitas intestinais. Vários autores têm encontrado reduções superiores a 90% no número de coliformes em dejetos de aves (AMARAL, 2000), de suínos, de bovinos (AMARAL, 2004) e de 100% em dejetos de caprinos (AMORIM, 2005) tratados em sistemas utilizando biodigestão anaeróbia.

Além da indiscutível redução do impacto dos sistemas de produção animal no ambiente por meio do tratamento dos resíduos, o emprego de biodigestores anaeróbios como parte integrante do processo produtivo poderá representar importante fonte de renda ou de economia nas propriedades rurais, substituindo em parte a energia elétrica utilizada da rede pública, viabilizando a aquisição de equipamentos para a melhoria na qualidade de vida da população rural ou gerando energia elétrica em lugares onde não há.

A biodigestão anaeróbia é um processo microbiológico de múltiplos estágios, por meio da qual os resíduos orgânicos, na ausência de oxigênio, podem ser biologicamente convertidos em metano e outros produtos. Zeikus (1980) propôs o seguinte processo metabólico microbiano para a digestão anaeróbia:

- Bactérias hidrolíticas que fermentam grande variedade de moléculas orgânicas complexas, por exemplo, polissacarídeos, lipídios e proteínas, em amplo espectro de produtos finais, por exemplo, ácidos orgânicos;
- Bactérias acetogênicas, que incluem espécies facultativas e estritamente anaeróbias, que fermentam ácidos voláteis maiores que o acético, por exemplo, butirato e propionato, e compostos neutros maiores que o metanol, por exemplo, etanol, propanol, a hidrogênio e acetato;

- Bactérias homoacetogênicas, que podem fermentar amplo espectro de compostos constituídos por carbono, transformando-os em ácido acético;
- Bactérias metanogênicas, que fermentam  $H_2/CO_2$ , compostos constituídos por carbono, por exemplo, metanol e  $CO$ , e acetato, tendo como produto final o metano.

Na Figura 1, está representado o esquema da biodigestão anaeróbia, adaptado de Amarante (2010).

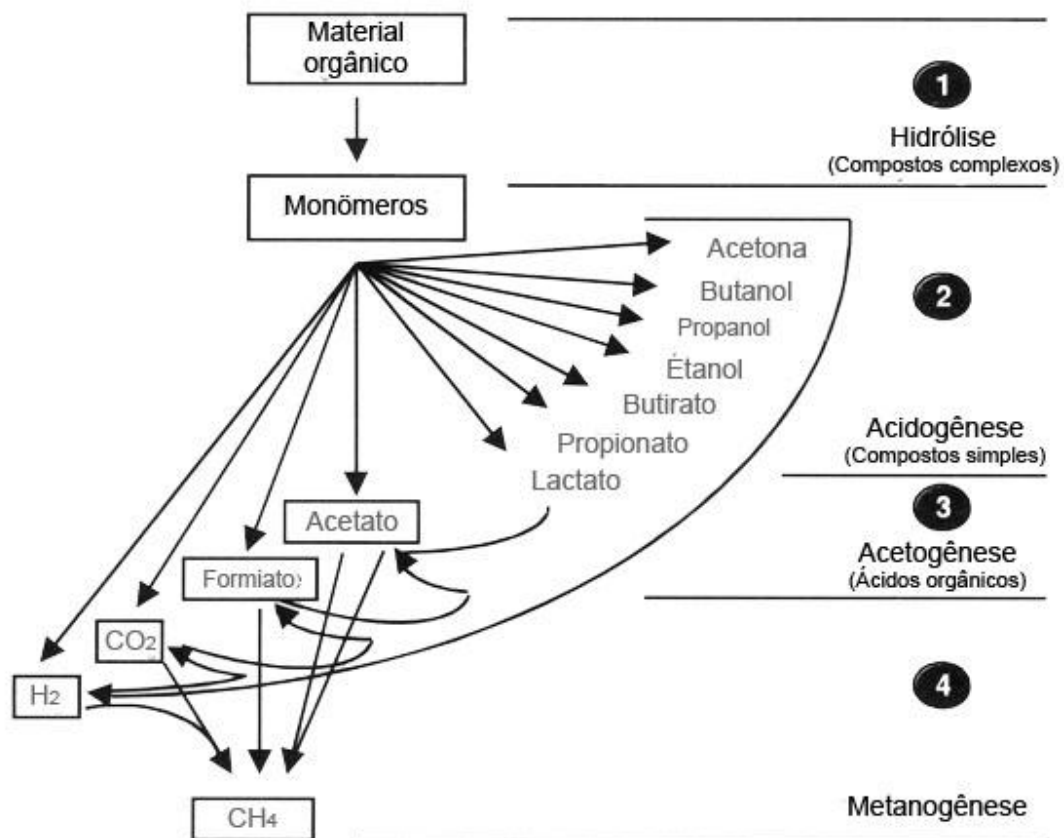


Figura 1: Seqüência metabólica e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia de material orgânico, adaptado de AMARANTE (2010).

O processo de digestão anaeróbia pode ser influenciado por uma série de fatores, favorecendo ou não o processo fermentativo, a degradação do substrato, o crescimento e declínio dos microrganismos envolvidos, e a produção de biogás. Entre esses fatores pode-se citar a temperatura, o pH, o substrato e sua composição, e o teor de matéria seca (STEIL, 2001).

### 2.3. A biomassa

Biomassa, segundo Ferreira (1986), é qualquer material vegetal usado como fonte de energia. Esta definição é conveniente, mas se falando de biodigestores, a biomassa é mais adequadamente definida como todo material passível de ser fermentado, a fim de obter biogás.

Esta fermentação ou decomposição da biomassa é realizada em meio anaeróbio e depende de diversos fatores, como: temperatura, pH, relação carbono/nitrogênio, nível de umidade, quantidade de bactérias, volume de biomassa, entre outros. Alguns destes fatores são intrínsecos da biomassa, como a relação carbono/nitrogênio e umidade, e outros são exógenos, como a temperatura.

Os fatores intrínsecos à biomassa são os que mais sofrem modificações por ações de manejo, por exemplo, o estrume que foi lavado é diferente daquele raspado do confinamento, e a cama de frango, cujo comedouro foi bem regulado é diferente daquela onde foi mal regulado (USDA, 2008); ou seja, modificações pequenas de manejo e comportamento, podem mudar totalmente as características da biomassa que entrará no biodigestor, influenciando no tratamento e produção de biogás.

A dieta dos animais é outro importante fator que está relacionado ao manejo e que influencia a produção de biogás. Dietas balanceadas, isto é, que atendam as exigências nutricionais dos animais, podem evitar prejuízos econômicos e reduzir o desperdício de nutrientes, o que pode reduzir a deposição destes no ambiente (TEIXEIRA, 2004). Existem outros fatores relacionados à dieta que influenciam na quantidade e qualidade do dejetos produzidos, dentre esses fatores podemos citar: peso, idade, nível de produção, estado fisiológico (animais prenhes, em lactação, ou em fase de terminação), qualidade do alimento fornecido, sistema de alimentação (pastejo, confinamento ou semi-confinamento) e até mesmo a estação do ano.

Ribeiro et al. (2007) concluíram que a forma de oferecer o alimento a bovinos, no caso a extrusão como tratamento físico do concentrado, favoreceu a produção de biogás, por disponibilizar maior quantidade de nutrientes no substrato, utilizados pelos microrganismos anaeróbios para seu crescimento e por consequência maior produção de biogás. Os autores verificaram também que a utilização de ionóforos na dieta retardou o início da produção de biogás.

Orrico et al (2011), trabalhando com caprinos em diferentes idades e fornecendo diferentes relações volumoso: concentrado, observaram que a produção de biogás é maior em dejetos de animais alimentados com uma maior proporção de concentrado na dieta, e que a idade dos animais influencia positivamente nesta produção, isto é, quanto mais velho o animal maior é a produção de biogás do dejetos produzido por ele.

Jarret (2011), estudando o aumento da quantidade de fibra em dietas isoenergéticas para suínos, observou que dejetos produzidos a partir de dietas contendo mais fibras, tiveram maior concentração de metano no biogás. Isso pode ter ocorrido, segundo o autor, devido à adição de gordura às dietas com mais fibra visando obter rações isoenergéticas, o que resultou em excretas com maior quantidade de gordura, por isso maior produção de metano. O mesmo foi observado por Li et al, (2002), que observaram aumento da produção de metano para dejetos de bovinos e suínos alimentados com dietas acrescidas de gordura.

O resultado do tratamento do dejetos é a produção de biogás, caracterizada como uma importante fonte alternativa de energia, gerando como co-produto o chamado biofertilizante. Este biofertilizante oferece aos produtores brasileiros uma alternativa promissora, com a possibilidade de diminuir a dependência do uso de insumos, que na maioria das vezes são oriundos de fontes não renováveis (como os fertilizantes minerais) e em grande parte importados de outros países, como no caso das fontes de potássio (LAPIDO-LOUREIRO & NASCIMENTO, 2003). A utilização de insumos minerais na agricultura brasileira está comumente sujeita as flutuações de oferta e de preços internacionais de mercado, que inviabilizam em muitos casos sua utilização como ferramenta tecnológica para aumento dos índices de produção.

Contraoando ao acúmulo de nutrientes em certas regiões com produção intensiva de animais, outras muitas áreas produtivas apresentam quadros de esgotamento das reservas de nutrientes no solo devido ao cultivo excessivo e a não reposição desses nutrientes. A falta de adubação é uma das causas dos baixos índices brasileiros de produção animal, a qual é encontrada predominantemente em sistemas de pastagens com cenários inclusive de extensa degradação do solo. Neste contexto, a utilização de biofertilizantes renderia aos produtores uma economia de 30% nos custos totais referentes aos gastos com adubação em

sistemas de produção de ruminantes, baseados em forragens como principal fonte de alimento para os animais (CEZAR, 2001).

Para demonstrar o potencial da técnica com pequenos ruminantes, Quadros et al. (2007) consideraram um rebanho de 100 caprinos ou ovinos em um sistema semi-intensivo onde os animais são mantidos confinados somente à noite e estimaram uma produção diária de 50 kg de dejetos. Os autores constataram que, se submetido à biodigestão anaeróbia, essa quantidade diária de esterco produziria 3,0 m<sup>3</sup> de biogás/dia ou 91,9 m<sup>3</sup>/mês, o equivalente a 2,8 botijões de gás de cozinha (GLP – Gás Liquefeito de Petróleo) por mês, ou 33,9 botijões/ano. Caso a produção de biogás fosse convertida em eletricidade, resultaria em 505 kWh/mês (equivalente a R\$ 267,00 - R\$ 0,53/kWh) ou 6.151 kWh/ano (R\$ 3.260,00/ano). Em adição, a produção diária de 250 litros de biofertilizante forneceria anualmente quantidade de nutrientes equivalentes a 291 kg de sulfato de amônio, 35 kg de superfosfato simples e 404 kg de cloreto de potássio. Os autores ainda extrapolaram esses valores ao benefício que o aproveitamento dos dejetos de animais poderia trazer ao se considerar o efetivo de 17.139.734 de caprinos e ovinos somente no nordeste brasileiro. De acordo com os autores, se adequadamente manejado, o esterco produzido por esse rebanho geraria quantidade de biogás equivalente a 1.032 GWh, o suficiente para abastecer 430.100 residências anualmente, consumindo em média 200 kWh/mês. Além disso, a produção de biofertilizante seria equivalente a 18, 20 e 25 mil toneladas/ano de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, englobando o N, P e K.

Os dejetos dos pequenos ruminantes apresentam algumas particularidades que necessitam ser levadas em consideração para a adequada biodigestão anaeróbia. As fezes de caprinos e ovinos, em formato de cíbalas, são normalmente mais secas do que as fezes de outros animais. Por esse motivo, para viabilizar a biodigestão dos dejetos destes animais é necessário realizar a ruptura das cíbalas antes do início do processo. A recomendação prática para esse processo é umedecer toda a massa de dejetos, para que as cíbalas tenham maior facilidade de ruptura. Na sequência escoar o excesso de água e prensar a massa úmida, de modo que o conteúdo das cíbalas se torne disponível para os microrganismos da biodigestão anaeróbia (AMORIM, 2005).

Segundo Srinivasan (1978) e Sharma et al (1980), citados por Lucas Junior. (1987), o teor de matéria seca ideal para um bom desempenho do processo de biodigestão deve estar próximo a 8%. Mas devido às características físicas e a baixa umidade dos dejetos caprinos é recomendado que a matéria seca para este tipo de dejetos esteja em torno de 3%.

#### **2.4. Temperatura afetando a fermentação anaeróbia**

A maioria dos microrganismos crescem bem nas temperaturas ideais para os seres humanos, no entanto certas bactérias são capazes de crescerem em temperaturas extremas, podendo classificá-las em 3 tipos: psicrófilas, que crescem em baixas temperaturas; mesófilas, que crescem em temperaturas moderadas e termófilas, que crescem em altas temperaturas.

A temperatura é um fator de extrema relevância na digestão anaeróbia, uma vez que influencia na atividade bacteriana, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos (FORESTI, 1999). A ação da temperatura sobre o processo de digestão anaeróbia vem sendo examinado por diversos autores nas faixas psicrófila, abaixo de 20°C (MASSÉ e DROSTE, 1997; VARTAK, 1997; LOKSHINA e VAVILIN, 1999; MASSÉ, 2000; MASSÉ e DROSTE, 2000), mesofílica, entre 20 e 45°C (TORRES-CASTILHO, 1995; BROUGHTON, 1998; CHEN e SHYU, 1998), e termofílica, entre 50 e 70°C (ÖZTÜRK, 1993; LEPISTO e RINTALA, 1996). As reações biológicas se processam mais rapidamente com o aumento da temperatura, resultando em obtenção de gás e tratamento do dejetos mais rapidamente com um tempo de retenção menor.

O Brasil, sendo um país continental, possui grande variação de temperatura durante o ano. Em regiões como a Norte, Nordeste e Centro-oeste, as variações de temperatura possuem pouca amplitude, enquanto que em regiões como Sudeste e Sul a amplitude é maior. Isso implica que, no Brasil, o potencial para o tratamento de dejetos com o uso do biodigestor e consequente produção de biogás é grande, principalmente quando o dejetos a ser tratado provém de caprinos, os quais por sua vez são criados em sua maioria na região nordeste do Brasil, onde a temperatura não representa um fator limitante no tratamento.

## 2.5. pH

O pH é um dos parâmetros mais importantes para a fermentação anaeróbia e o seu controle é essencial para o bom funcionamento dos reatores. O pH indica a estabilidade do sistema em equilíbrio e desempenho anaeróbio, alterações no pH, geralmente sua diminuição, são sinais de problemas. Bactérias metanogênicas são muito sensíveis a mudanças de pH, e pequenas mudanças podem ameaçar a produção de gás (BERNET E BUFFIÈRE, 2008). Se a faixa de operação de um reator é entre 5,5 e 8,5, os valores ideais para os microrganismos metanogênicos variam entre 7,0 e 7,2. A queda do pH abaixo de 5,0 é letal para esses organismos (OSTREM, 2004) e até mesmo valores perto de 6,0 podem causar uma interrupção do processo (UNITED-TECH, sd).

A digestão anaeróbia é uma sequência de reações, cada uma com subprodutos diferentes, os quais podem influenciar negativamente uns aos outros. A superprodução de ácidos voláteis por organismos acidogênicos pode levar à diminuição do pH e, conseqüentemente, de inibição das bactérias metanogênicas, situação provavelmente causada por grande oferta de material orgânico fresco para o digestor. Em contraste, excesso de substrato para a formação de metano pode levar a aumento do pH e diminuição da acidogênese (OSTREM, 2004).

Diante do exposto, pode-se verificar que apesar do grande potencial do uso de dejetos caprinos para produção de biogás, algumas informações, referentes à melhor combinação de alguns fatores intrínsecos e exógenos que proporcionem a melhor fermentação e aumento da produção de biogás, ainda não foram satisfatoriamente descritas para o uso de dejetos caprinos como biomassa.

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1. Local

O experimento foi conduzido no Departamento de Zootecnia e Departamento de Engenharia Rural, ambos da Univ Estadual Paulista, UNESP, campus de Jaboticabal, localizado nas coordenadas 21° 14' de latitude sul e 48° 16' de longitude

oeste, a altitude aproximada de 560 m, clima tropical com chuvas de verão (Aw) na classificação de Köppen-Geiger.

### **3.2. Descrição do experimento e delineamento experimental**

Foram confeccionados 24 biodigestores constituídos de 3 cilindros de PVC de tamanhos decrescentes, o maior (câmara de fermentação) com 0,5 metro de comprimento e 0,075 metros de diâmetro, lacrado, porém com uma abertura inferior de um dos lados para entrada de material e na outra extremidade uma abertura superior para a saída do biogás produzido. A capacidade total de cada biodigestor é de 8 litros e a capacidade útil de 6 litros de mistura.

Acoplado ao furo superior do biodigestor foi instalada uma mangueira plástica acoplada ao cano de menor diâmetro (0,15 metros) com uma extremidade lacrada, e que serve como gasômetro, o qual por sua vez fica dentro de outro tubo de tamanho intermediário com água, formando um selo de água por onde o gasômetro se deslocou, conforme o esquema na Figura 2:

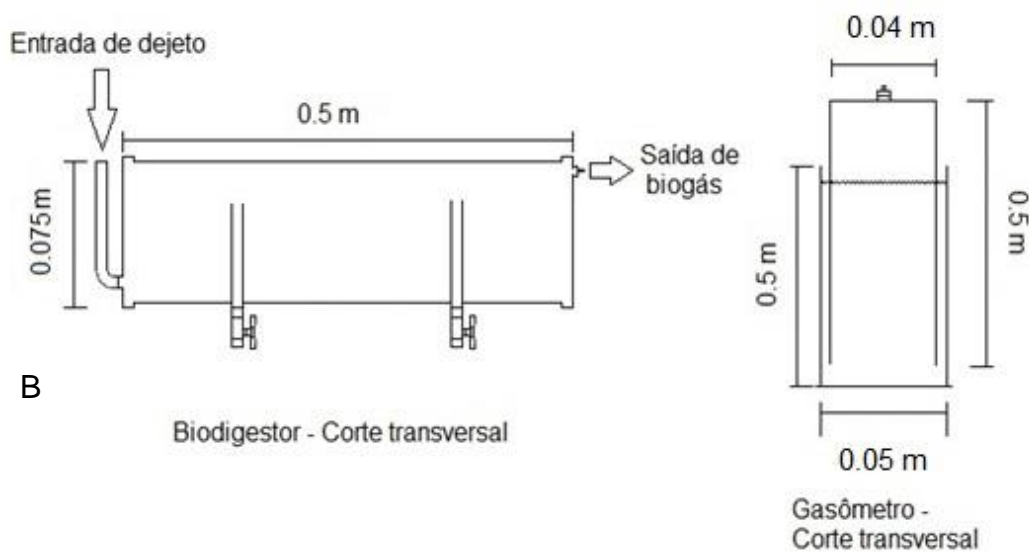
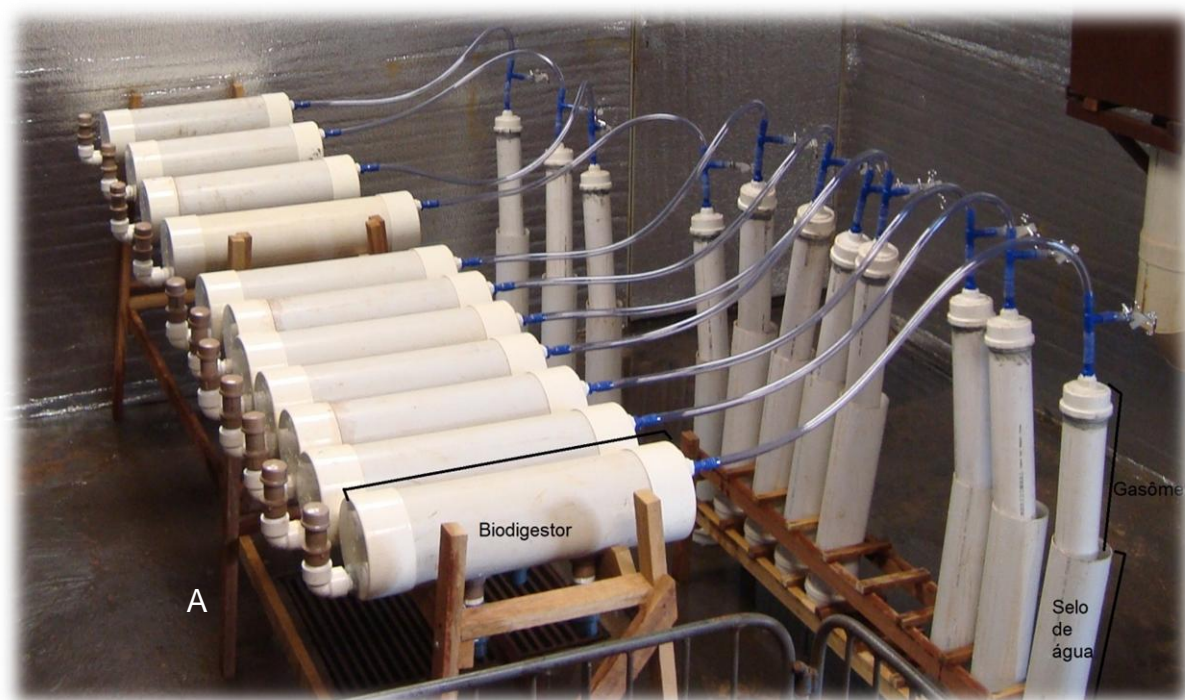


Figura 2: (A) Foto ilustrativa da disposição dos biodigestores dentro da sala de aquecimento, com indicação do biodigestor, gasômetro e selo d'água; (B) Cortes transversais e dimensões do biodigestor e gasômetros utilizados no experimento.

Os biodigestores foram abastecidos com dejetos de cabras Saanen adultas em diferentes estágios e ordem de lactação, alimentadas *ad libitum* com silagem de milho, concentrado à base de milho, soja e suplemento mineral, com uma relação volumoso:concentrado de 60:40. Os dejetos foram coletados das canaletas sob o piso ripado suspenso.

O teor de matéria seca (MS) das fezes foi calculado no dia do abastecimento utilizando microondas, conforme Circular Técnica 33 da EMBRAPA. Os teores de MS no substrato foram preparados conforme expressões citadas em Lucas Junior (1994):

$$Eu = \frac{ES}{ST} \times 100 \text{ (equação 1);}$$

$$W = Eu + A \text{ (equação 2);}$$

$$ES = \frac{K \times W}{100} \text{ (equação 3);}$$

em que:

W = massa de substrato a ser colocado no biodigestor (kg);

ES = massa seca de estrume a ser adicionado em W (kg);

K = porcentagem de sólidos totais que se pretende em W;

ST = porcentagem de sólidos totais contidos no estrume fresco;

Eu = massa de estrume fresco para se obter W (kg);

A = massa de água a ser misturada com Eu para se obter W (kg).

Determinadas as quantidades de dejetos frescos que foram utilizadas no abastecimento de cada biodigestor, o pH era mensurado e corrigido para cada tratamento com uso de ácido forte (ácido sulfúrico 98%). De acordo com o tratamento, as cíbalas foram quebradas com o auxílio de uma peneira e com cuidado os biodigestores foram abastecidos, certificando-se que todo material era colocado na câmara de fermentação. No momento do abastecimento, se ocorresse algum entupimento que impedisse a entrada de parte do material, o processo de abastecimento era refeito.



Figura 3: Abastecimento do biodigestor na sala de aquecimento após quantidade de sólidos e pH corretos para o tratamento.

No experimento as temperaturas foram sorteadas, pois foram limitantes ao local onde os biodigestores estariam alocados, sendo uma sala de aquecimento (Laboratório de Bioclimatologia) e sala de resfriamento (Laboratório de Estudos em Caprinocultura) e dentro das salas foram distribuídos os biodigestores com as combinações de pH e matéria seca, conforme Figura 3.

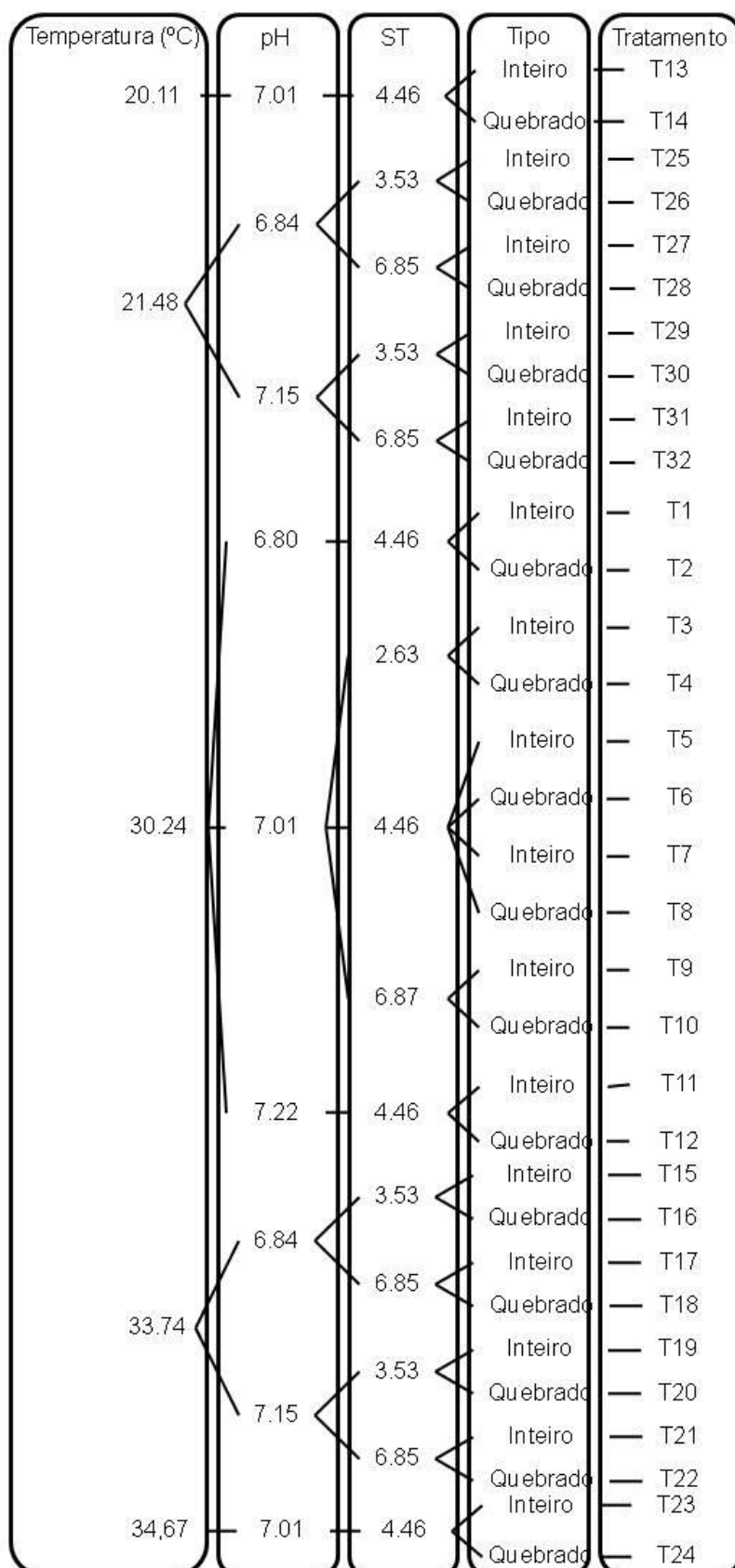


Figura 4: Distribuição dos tratamentos experimentais após aplicação da ferramenta estatística Central Composite Design.

O manejo na sala de aquecimento consistia em, por volta das 8:00 horas, os aquecedores eram ligados para se alcançar a temperatura desejada do tratamento e por volta das 19:00 horas os mesmos eram desligados, com o intuito de simular uma situação real onde durante o dia os biodigestores são aquecidos pela radiação solar e durante a noite ocorre uma diminuição gradual da temperatura ambiente e do biodigestor. Na sala de resfriamento, o sistema de resfriamento não foi desligado, pois se assim fosse, a temperatura ambiente iria subir, o que não ocorre na natureza.

As temperaturas, máxima e mínima, e umidade relativa do ar, máxima e mínima de dentro das salas foram anotadas diariamente. A produção de biogás foi medida diariamente por meio da leitura do deslocamento vertical do gasômetro e a concentração de metano foi avaliada semanalmente, conforme descrito a seguir.

### **3.3. Avaliação do biogás produzido**

Os teores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) foram determinados segundo metodologia descrita por APHA (1995).

As análises da composição do biogás produzido nos biodigestores foram realizadas para determinação dos teores de metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), em cromatógrafo de fase gasosa Finigan GC-2001, equipado com as colunas Porapack Q e Peneira Molecular, e detector de condutividade térmica. Estas amostras foram coletadas semanalmente com seringas de 60ml e o gás injetado no cromatógrafo.

Os volumes de biogás produzidos diariamente, durante os ensaios, foram determinados medindo-se o deslocamento vertical dos gasômetros. Após cada leitura os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e  $20^\circ\text{C}$  foi efetuada conforme recomendado por CAETANO (1985).

Para a correção do volume de biogás, utilizou-se a equação dos gases ideais, resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac:

$$\frac{V_0 \times P_0}{T_0} = \frac{V_1 \times P_1}{T_1} \text{ (equação 4);}$$

Sendo que:

$V_0$  = volume do biogás corrigido, m<sup>3</sup>;

$P_0$  = pressão corrigida do biogás, atm;

$T_0$  = temperatura corrigida do biogás, K;

$V_1$  = volume do gás no gasômetro, m<sup>3</sup>;

$P_1$  = pressão do biogás no instante da leitura, atm;

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

### 3.4. Caracterização dos sólidos do afluente e efluente

As amostras dos sólidos coletados antes da biodigestão anaeróbia e após a biodigestão, foram pré-secadas à 60°C, em estufa de circulação forçada de ar, por 72 horas. A seguir foram moídas, em moinho de facas com peneira de 1 mm.

Desta amostra seca, foram realizadas análises de matéria seca, proteína bruta, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina e cinzas, segundo metodologia descrita por AOAC (1995, method number 930.15).

### 3.5. Cálculo do potencial de produção de biogás

O potencial de produção de biogás é uma estimativa de quanto de biogás determinado substrato poderá produzir. Esse potencial foi calculado dividindo-se a produção total de biogás pela quantidade de substrato, podendo ele ser a quantidade de ST e SV adicionados ao biodigestor, a quantidade de ST e SV reduzidos durante o processo fermentativo ou a quantidade de dejetos utilizados para fermentação. Esse potencial é expresso em m<sup>3</sup> de biogás por kg de material.

### 3.6. Análise estatística

No estudo foi utilizado delineamento experimental central composto (central composite design - CCD) e os tratamentos distribuídos em esquema fatorial 3x3x3x2 (3 níveis de temperatura, 3 níveis de pH e 3 níveis de matéria seca) com 2 tipos de fezes (fezes caprinas inteiras e fezes caprinas quebradas) distribuídos de forma ortogonal, pois são variáveis sem correlação.

Um experimento fatorial 3x3x3x2 (20, 30 e 40°C de temperatura, 6,8, 7 e 7,2 de pH, 3, 5 e 7 de matéria seca e fezes inteiras e quebradas) resultaria em 54 tratamentos, ou  $3^k$  tratamentos x2 tipos de fezes, onde k é o número de tratamentos. No delineamento em CCD, este número de tratamentos é 40% menor quando comparado com um experimento fatorial normal, isso reflete em economia de tempo, dinheiro e mão-de-obra (ST-PIERRE & WEISS, 2009), os mesmos autores descrevem o delineamento em CCD como:  $2^k+(2xk)+1$ , ou seja,  $2^3+(2x3)+1= 15$  tratamentos + 1 tratamento onde se encontra o ponto central e que se repete, ou seja 16 tratamentos x2 tamanhos = 32 tratamentos em 2 repetições por tratamento.

Os dados foram analisados como modelos mistos sendo as variáveis com efeitos fixos (temperatura, pH, matéria seca, tipo de fezes e suas interações) e efeito aleatório (dia e biodigestor), utilizando o procedimento PROC MIXED do SAS (versão 9.0). O modelo utilizado foi:  $vol = a + b \times temp + c \times pH + d \times MS + e \times dia + f \times temp^2 + g \times pH^2 + h \times MS^2 + i \times dia^2 + j \times temp \times pH + l \times temp \times MS + m \times temp \times dia + n \times ph \times MS + o \times pH \times dia + p \times MS \times dia + q \times temp \times pH \times MS \times dia + r \times tipo + b1 \times temp \times tipo + c1 \times pH \times tipo + d1 \times MS \times tipo + e1 \times dia \times tipo + f1 \times tipo \times temp^2 + g1 \times tipo \times pH^2 + h1 \times tipo \times MS^2 + i1 \times tipo \times dia^2 + j1 \times temp \times pH \times tipo + l1 \times tipo \times temp \times MS + m1 \times tipo \times temp \times dia + n1 \times tipo \times ph \times MS + o1 \times tipo \times pH \times dia + p1 \times tipo \times MS \times dia + q1 \times tipo \times temp \times pH \times MS \times dia$  (equação 5).

Os parâmetros a serem utilizados no modelo para predição da produção de biogás ou metano foram estimados utilizando a opção SOLUTION OUTP do MODEL. A significância para declarar um parâmetro significativo foi de 2% ( $P \leq 0,02$ ).

### **3.7. Viabilidade econômica da implantação de um sistema de tratamento de dejetos.**

Para analisar a viabilidade de econômica do tratamento de dejetos, foram simuladas propriedades idênticas quanto ao número de animais, área, funcionários, despesas, receitas e horizonte do projeto (10 anos), sendo a diferença na implantação ou não de biodigestor, e na utilização de uma propriedade sem

estrutura e uma propriedade com reformas estruturais, formando quatro sistemas de produção:

1 – Sistema de Criação Tradicional Nova (TN), com sistema de criação sem aproveitamento energético, tendo apenas a produção de leite como produto final e construções novas;

2 – Sistema de Criação Tradicional Novo Sustentável (TNS), idem ao TN, porém visando a sustentabilidade energética e ambiental do sistema, aproveitando os subprodutos da criação (dejetos e água de lavagem de aprisco), para produção de biogás e biofertilizantes, e posterior utilização, seja como adubo orgânico em pastagens e geração de energia elétrica;

3 – Sistema de Criação Tradicional Reformado (TR), com sistema de criação sem aproveitamento energético, tendo apenas a produção de leite como produto final e construções reformadas com preços 50% menor do valor inicial;

4 – Sistema de Criação Tradicional Reformado Sustentável (TRS), idem o TR porém, visando à sustentabilidade energética e ambiental do sistema, aproveitando os subprodutos da criação (dejetos e água de lavagem de aprisco), para produção de biogás e biofertilizantes, e posterior utilização, seja como adubo orgânico em pastagens e geração de energia elétrica.

Os preços aplicados na simulação foram aqueles praticados no Estado de São Paulo, oriundos de pesquisa de mercado, informados pelos fornecedores ou consultadas na Tabela de Preços Unitários, encontrada no site da Fundação para Desenvolvimento da Educação (<http://www.fde.sp.gov.br>).

### **3.7.1. Descrição da propriedade**

A propriedade simulada foi dividida em 3 áreas, sendo uma para o cultivo de milho representado 16 hectares (ha), área construída representado casa, instalações zootécnicas e seus arredores representado 1 ha e reserva legal representando 13 ha.

### **3.7.2. Sistema de Criação**

Foi adotado sistema de criação em confinamento, pois o estado de São Paulo possui poucas áreas destinadas ao pastejo e o valor da terra é elevado. Este sistema viabiliza-se somente com animais especializados para a produção de leite ou para terminação de animais de corte, onde se exige: especialização da mão-de-obra; boas condições sanitárias, já que o número de animais por área é maior; e dietas balanceadas, por isso que se procura explorar os animais ao máximo potencial genético, para diminuir o ônus deste sistema de produção.

Neste sistema os animais permanecem totalmente confinados, com acesso à uma área de maior incidência de solar, onde os animais podem se exercitar e expressar seu comportamento natural.

O piso será ripado suspenso obtendo assim maior ventilação na instalação e menor contato dos animais com as fezes, diminuindo a contaminação por vermes e ocorrências de enfermidades ligadas ao úbere, mas é um piso que deve ser planejado para suportar peso, é mais dispendioso para construção e precisa de manutenção anual. É imprescindível o planejamento para o escoamento dos dejetos e possível aproveitamento dos mesmos, nas pastagens ou como fonte de energia renovável.

A mão-de-obra deve ser capacitada para as funções diárias do capril, o trabalho deve ser específico para cada funcionário, evitando que um funcionário faça duas funções contraproducentes, além de acompanhamento técnico remunerado

Os animais são alojados em lotes e separados por categoria animal, desta maneira fica estabelecida uma ordem espacial das instalações o que facilita o manejo.

A reprodução é natural controlada, sendo os machos selecionados para cada fêmea e o sistema de reprodução escolhido foi o anual, onde a composição do rebanho é demonstrada na tabela 1 e os índices zootécnicos apresentados no Apêndice dessa tese.

Tabela 1: Tabela de composição do rebanho caprino no ciclo anual.

<b>Categoria</b>	<b>Número de animais</b>	<b>Animais mortos</b>	<b>Número de compras</b>	<b>Número de vendas</b>
Bodes	6,66	0,32	2,31	1,99
Cabras em lactação	165,20	9,60	0	50,00
Cabras secas	34,80			
Cabritos (0-8 meses)	150,00	7,35	0	146,40
Cabritas (8-12 meses)	150,00	9,60	0	80,80
<b>Total</b>	<b>506,60</b>	<b>26,87</b>	<b>2,31</b>	<b>279,19</b>

### 3.7.3. Equipamentos e instalações

A Tabela 2 apresenta a lista de equipamentos comuns para as propriedades simuladas e seus respectivos valores individuais.

Tabela 2: Lista de equipamentos comuns para as propriedades simuladas e seus respectivos valores individuais.

<b>Especificação</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>R\$/m<sup>2</sup></b>	
			<b>Reformado</b>	<b>Novo</b>
Casa do funcionário	110	m <sup>2</sup>	459,26	918,51
Aprisco	1800	m <sup>2</sup>	306,17	459,26
Central de manejo	140	m <sup>2</sup>	306,17	459,26
Balança	1	Unidade	5.000,00	5.000,00
Galpões	280	m <sup>2</sup>	306,17	459,26
Sala de ordenha	35	m <sup>2</sup>	306,17	459,26
Cerca convencional (divisa)	1620	M	5,00	50,00
Cerca elétrica (interna)	1000	M	2,50	25,00
Bebedouro	40	Unidade	60,00	60,00
Sistema de ordenha completo	1	Unidade	10.000,00	10.000,00
Sistema de abast. de água	1	Unidade	3.000,00	6.000,00
Caixa d água "Torre" 70.000 L	1	Unidade	24.780,00	24.780,00
Carreta 8t	1	Unidade	8.000,00	8.000,00
Trator de 120 hp	1	Unidade	70.000,00	70.000,00
Silos	1000	m <sup>2</sup>	100,00	459,26

### 3.7.4. Cultura milho para silagem

O milho será a cultura utilizada para este projeto, na forma de silagem para alimentação dos caprinos. Entende-se como boa silagem de milho, aquela que em todos os passos de sua elaboração, desde o plantio do milho até o enchimento do

silo foram seguidas todas as técnicas recomendadas, tornando possível atingir seu alto potencial de qualidade.

Neste projeto utilizou-se uma planilha de custos desenvolvida pela EMBRAPA e disponível no site (<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteZonadaMataAtlantica/custos/cpsilagemilho.html>), onde após as alterações necessárias para as condições do projeto, o preço do quilograma da silagem de milho produzida foi de R\$ 0,19 (dezenove centavos de real).

### 3.7.5. Sistema de aproveitamento energético

Os cálculos e dimensões dos biodigestores e equipamentos destinados ao aproveitamento do biogás foram cotados de fornecedores e seguem na Tabela 3: Valores estes superiores ao que realmente é utilizado, pois o sistema é superdimensionado, mas é o menor encontrado hoje, no mercado.

Tabela 3: Lista de equipamentos utilizados para implantação do sistema sustentável para as propriedades simuladas e seus respectivos valores individuais.

<b>Especificação</b>	<b>Valor inicial (R\$)</b>
Biodigestor completo	50.000,00
Agitador + Tanque	8.000,00
Peneira para separação das frações S e L (WAN)	35.000,00
Motobomba de chorume á biogás	5.000,00
Motobomba de água a biogás	5.000,00
Grupo Gerador SG40B (Fok)	35.000,00
Leitor de biogás (Medidor de Vazão) Transferência de dados para PC	2.500,00
Serviço de instalação de motobombas	350,00
Serviço de instalação de sistema de canalização de substrato	1.500,00
Serviço de instalação de sistema de canalização e limpeza de biogás	800,00
Serviço de instalação de sistema de purificação de biogás	3.500,00
Sistema de tubulação para motobomba de biofertilizante	1.500,00
Sistema de compressão de biogás + Tanque pulmão	9.500,00
Sistema de canalização de biogás de aço galvanizado de 3/4	2.500,00
Sistema de coleta de água (calhas + tubulação + filtros + caixa de SS)	11.500,00
<b>Total</b>	<b>161.850,00</b>

### **3.7.6. Viabilidade econômica**

Estabelecidos os custos e receitas do sistema, foram determinados o fluxo de caixa do projeto e a análise de viabilidade econômica por meio dos seguintes indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Relação Benefício-Custo (RBC) e Período de Recuperação do Capital (Payback Time). Também foi realizada a análise de sensibilidade do projeto com o cálculo do ponto de nivelamento de preço para a venda de leite de cabra, que foi calculado dividindo o custo operacional total pela receita que o leite provê.

O VPL é considerado um critério de avaliação de projetos mais rigoroso e isento de falhas técnicas (NORONHA, 1987). Corresponde à soma algébrica dos valores do fluxo de caixa de um projeto, atualizados à taxa ou às taxas de desconto do período em questão, ou seja, o VPL é o valor presente de pagamentos futuros descontados de uma taxa de juros, menos o custo inicial do investimento. É o cálculo de quantos pagamentos futuros somados a um custo inicial estariam valendo atualmente. Caso o VPL encontrado no cálculo seja negativo, o retorno do projeto será menor que o investimento inicial, o que sugere que ele seja reprovado. Caso ele seja positivo, o valor obtido no projeto pagará o investimento inicial, o que o torna viável.

A TIR é a taxa necessária para igualar o valor de um investimento com os seus respectivos retornos futuros ou saldos de caixa, é a taxa que seu investimento terá no horizonte do projeto.

A RBC é uma forma fácil e ágil de avaliação de projetos, apesar de algumas críticas, pode ser aplicada na avaliação de projetos.

O Payback Time é o tempo que um projeto demora a retornar o valor inicial investido.

### **3.7.7. Receitas e despesas**

Abaixo segue a tabela das receitas esperadas pelos sistemas sustentáveis e não sustentáveis. Como a diferença entre os sistemas reformado e novo aplica-se ao investimento em instalações e depreciação das mesmas, optou-se por mostrar somente as receitas somente onde aparece a diferença, que é entre os sistemas sustentáveis.

Tabela 4: Receitas esperadas para os sistemas de produção sustentáveis e não sustentáveis

Item	Sistemas sustentáveis					Sistemas não sustentáveis			
	Uni	Quant	R\$/Uni	Total	% do total	Quant	R\$/Uni	Total	% do total
<b>Bodes</b>	R\$	2,00	800,00	1.600,00	0,48	2,00	800,00	1.600,00	0,50
<b>Cabras secas</b>	R\$	50,00	300,00	15.000,00	4,50	50,00	300,00	15.000,00	4,69
<b>Cabritos (0-3 meses)</b>	R\$	146,00	150,00	21.900,00	6,57	146,00	150,00	21.900,00	6,85
<b>Cabritas (0-12 meses)</b>	R\$	80,00	220,00	17.600,00	5,28	80,00	220,00	17.600,00	5,51
<b>Venda de leite</b>	Litros	138.700,00	1,90	263.530,00	79,01	138.700,00	1,90	263.530,00	82,45
<b>Biogás</b>	R\$	-	-	3.900,00	1,17				
<b>Efluente</b>	Litros	500,00	20,00	10.000,00	3,00				
<b>Total</b>				333.530,00	100,00			319.630,00	100,00

A seguir segue a tabela de custos de produção e de depreciação para os sistemas TN, TNS, TR e TRS.

Tabela 5: Tabela de custos operacionais efetivos anuais e depreciação para os sistemas novo e novo sustentável, reformado e reformado sustentável

<b>Custo de produção</b>					
<b>Custo operacional efetivo (COE)</b>		<b>TNS*</b>	<b>TN</b>	<b>TRS</b>	<b>TR</b>
Mão-de-obra	R\$	37.752,00	37.752,00	37.752,00	37.752,00
Energia Elétrica	R\$	7.800,00	7.800,00	7.800,00	7.800,00
Consumo de Água	R\$	12.000,00	12.000,00	12.000,00	12.000,00
Alimentação	R\$	105.984,26	105.984,26	105.984,26	105.984,26
Prod. Veterinários	R\$	1.531,20	1.531,20	1.531,20	1.531,20
Cultura Perene	R\$	10.540,88	10.540,88	10.540,88	10.540,88
<b>Total (COE)</b>		175.608,34	175.608,34	175.608,34	175.608,34
<b>Outros Custos (OC)</b>					
Depreciação Implantação Biodigestor	R\$	91.559,89	91.559,89	52.411,14	52.411,14
	R\$	9.480,00		9.480,00	
<b>Total (OC)</b>	R\$	101.039,89	91559,89	61.891,14	52.411,14
<b>Custo Operacional Total (COT)</b>					
COE	R\$	175.608,34	175.608,34	175.608,34	175.608,34
OC	R\$	101.039,89	91.559,89	61.891,14	52.411,14
<b>Custo Operacional Total (COT)</b>	R\$	276.648,23	267.168,23	237.499,48	228.019,48

\*TNS – Sistema novo sustentável; TN Sistema novo; TRS – Sistema reformado sustentável e TR – Sistema reformado

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. A produção de biogás

A temperatura do ambiente consiste em fator importante para o bom funcionamento do biodigestor e interfere diretamente na mensuração do volume dos gases produzidos, por isso é crucial observar como o ambiente em que o sistema de tratamento de dejetos se encontra, de forma a permitir correções aplicando as leis de Boyle e Gay-Lussac. Essa correção para o volume de biogás possibilita a comparação com outros estudos. Na Tabela 2 estão apresentadas as temperaturas observadas após o manejo experimental durante o período experimental.

Tabela 6: Temperaturas previstas pelo delineamento e temperaturas atingidas durante o experimento nas salas experimentais.

Tratamento*	N*	Temperatura	Temperatura atingida		
		proposta	Média	Mínima	Máxima
T1 ao T12	49	30,00	30,24±0,04	26,40±0,02	35,40±0,03
T13 e T14	49	20,00	20,11±0,09	17,30±0,06	24,60±0,08
T15 ao T22	49	37,80	33,74±0,08	25,90±0,04	39,10±0,04
T23 e T24	49	40,00	34,67±0,27	26,70±0,08	40,10±0,07
T25 ao T32	49	22,20	21,48±0,04	16,20±0,01	24,46±0,04

\*Valores de pH e sólidos totais distribuídos conforme consta na figura 2 desta tese.

As temperaturas médias dos tratamentos (Tabela 6) foram muito próximas ao proposto, com exceção dos tratamentos T15 ao T22, onde foi proposto 37,8°C e em média atingido 33,74°C e dos tratamentos T23 e T24, onde foi proposto 40,0°C e em média atingidos 34,67°C. Com relação aos tratamentos T23 e T24, foi observado que a moda, que são os valores que ocorrem com mais frequência, foi de 40,50°C, isso significa que a maior parte do tempo os biodigestores foram submetidos à temperatura proposta

Essa variação de temperatura ocorreu provavelmente devido à alta influência da temperatura externa sobre os ambientes onde o trabalho foi executado. Como a câmara climática não tinha controle automático de temperatura e por segurança, os aquecedores eram desligados a noite, esse manejo possibilitou a simulação do que

realmente ocorre na natureza, onde durante o dia as temperaturas se elevam, e durante a noite diminuem. Mais estudos precisam ser feitos em torno da oscilação da temperatura e como ela afeta a produção de biogás.

O maior volume acumulado de biogás neste estudo foi obtido quando foram aplicados 34,67°C de temperatura ambiente, 6,8 de pH e 6,8% de sólidos totais dos dejetos (Figura 4).

O aumento da temperatura aumenta a produção de biogás (KOSSMANN, 2012) e estudos recentes têm mostrado que além da temperatura, a concentração do substrato no biodigestor é fator importante para determinar a produção de metano produzido em biodigestores anaeróbios (CHAMY e RAMOS, 2011), o que também foi observado nesse estudo. A interação desses fatores é complexa e quando as bactérias encontram condições de meio ideais, seguem crescimento exponencial, condições estas que envolvem pH, temperatura, osmolaridade, fornecimento adequado de substratos e outros fatores já mencionados (AL-MASRI, 2001).

Por exemplo, a multiplicação de bactérias metanogênicas depende de temperaturas entre 20 e 70 ° C (LETTINGA, 2001) e valores de pH entre 6,5 e 7,8 (JASH e GHOSH; 1996). Embora a amplitude de pH no nosso estudo foi estreita, a combinação de temperatura média de 34,7°C, com 6,8% MS gerou condições de cultura otimizadas para o crescimento de microorganismos, produzindo 10 m<sup>3</sup> de biogás em 49 dias de fermentação.

Os nossos resultados mostraram que a associação de fatores tais como pH, temperatura e MS otimizou a produção de biogás, se comparado com manipulação isolada de cada fator. Castro e Cortez (1998), estudando o efeito da temperatura sobre a produção de biogás, gerados a partir de dejetos bovinos, observaram que nas temperaturas de 45 e 55°C, a quantidade de biogás acumulada foi até 50% menor que na temperatura de 35°C. Tenev (2012), trabalhando com porcentagens de sólidos totais e temperatura concluiu que quanto maior a quantidade de sólidos e maior a temperatura maior é a produção de biogás.

Alguns manuais de recomendações de construção e manejo de biodigestores indicam que dejetos de pequenos ruminantes devem ser diluídos em água (FAO,

1984; MARTÍ-HERRERO, 2011;. KOSSMANN, 2012), mas nenhuma recomendação foi encontrada indicando as proporções de tal diluição.

A recomendação do teor de sólidos totais para ser adicionado no biodigestor para dejetos suínos e bovinos é de 5% (POULSEN, 2001) e para as aves é em torno de 3% (CHAMY e RAMOS, 2011). Esta informação não é conhecida para os pequenos ruminantes, mas os resultados revelaram que, nas nossas condições, com pH e temperatura utilizados (Figura 4) a produção de biogás aumentou com o aumento das quantidades de sólidos e a proporção de metano no biogás permaneceu a mesma, 39,6%. Foi observado, também, que com o aumento da temperatura a proporção de metano no biogás também foi aumentada, o que não ocorreu com o aumento do pH e a MS.

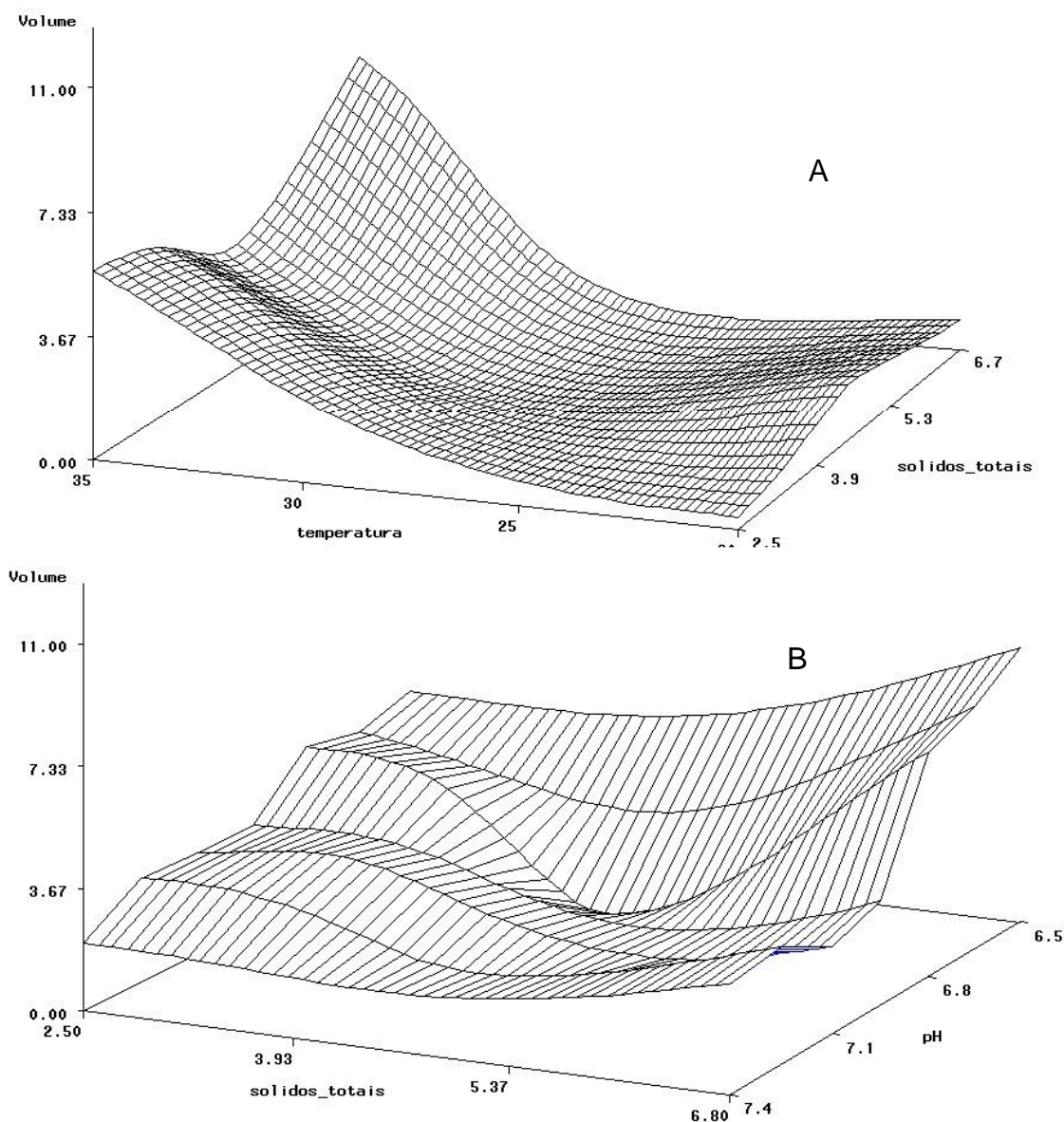


Figura 5: (A) A produção de biogás ( $\text{m}^3$  acumulada em 49 dias), em diferentes temperaturas e valores de sólidos totais, e (B), a produção de biogás de acordo com o pH e teor de sólidos totais.

O fato de detectamos o melhor rendimento de produção de biogás usando 27% a mais de sólidos que o recomendado para bovinos é extremamente importante, pois requer menor quantidade de água e tempo de manejo. Mesmo retornando essa água à natureza na forma de biofertilizante, o fato de utilizarmos menos água para a biodigestão, representa economia significativa. A água é essencial para a sobrevivência, e em locais de clima semi-árido, onde pequenos

ruminantes são importantes, devido a sua adaptabilidade a condições de escassez de alimentos e água, essa economia de água em conjunto com o processo de produção de biogás pode ser crucial para o desenvolvimento dessas populações e para o ambiente.

Deve notar-se que 6,87% de sólidos totais foi o valor mais elevado testado neste estudo, mas é possível que o sistema possa suportar maiores quantidades de sólidos totais. No entanto outros estudos demonstram que o processo fermentativo pode ficar saturado dependendo da quantidade de sólidos utilizados (acima de 40 g/l de substrato) (CHAMY e RAMOS, 2011). Um estudo posterior sobre como explorar as quantidades mais elevadas de sólidos totais de pequenos ruminantes em biodigestores, seria de grande interesse, tendo em vista o pH ótimo (6,8) e da temperatura (34,67°C), que são os valores encontrados neste estudo.

A redução de sólidos totais e/ou seus componentes é importante, pois indica quanto o material que entrou no biodigestor tornou-se menos poluente. Os valores, em média, referentes ao FDN e FDA de entrada foram 41,96 e 23,05%, respectivamente e de saída foram, 22,15 e 9,20%, respectivamente. As maiores reduções de FDN e FDA foram 66,2% e 69,8%. Estes valores de redução são maiores que os encontrados por Amorim (2005), que trabalhou diferentes dietas fornecidas aos animais e biodigestores em temperatura ambiente

A diminuição do impacto ambiental gerado pelos dejetos de caprinos pode ser comprovada neste estudo pela redução de N, que variou de 72 a 83%, dados estes apresentados no Apêndice deste trabalho. O conteúdo de nitrogênio presente no dejetos geralmente limita a sua aplicação no solo por ser um nutriente que, como o fósforo, pode tornar-se uma fonte poluidora quando em excesso (ATKINSON e WATSON, 1994; WITTMANN e SZÛCS, 1997), principalmente devido à eutrofização de corpos d'água e contaminação dos mesmos com nitratos, que estão envolvidos com problemas a saúde humana e animal.

Os valores negativos de lignina indicaram que houve um aumento da concentração desse componente no meio após 49 dias, uma vez que a lignina é pouco degradada por microrganismos (MALAFAIA, 1998) permanecendo no biodigestor enquanto outras frações mais degradáveis são digeridas resultando no aumento da concentração desse componente no substrato final.

A produção volumétrica de biogás ao longo do tempo para os tratamentos aplicados estão representadas na Figura 5.

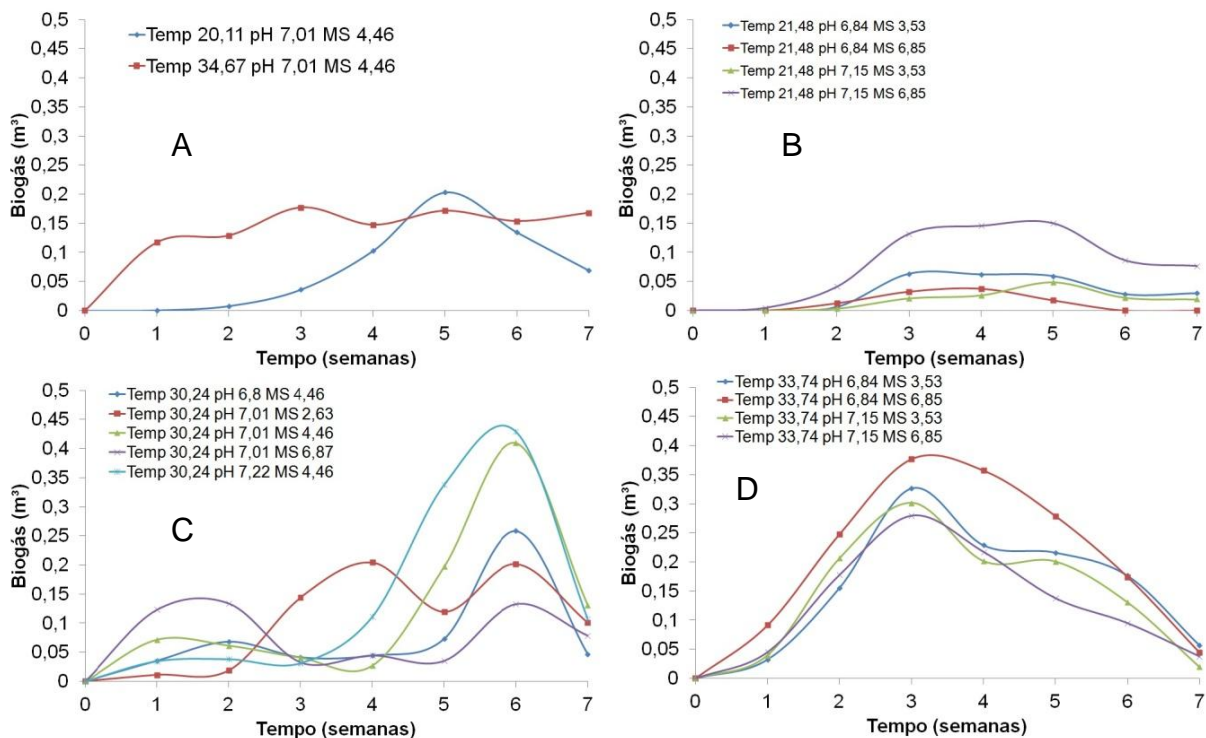


Figura 6: Produção de biogás (m<sup>3</sup>) no período experimental em diferentes temperaturas com o mesma porcentagens de sólidos totais e pH (A), diferentes porcentagens de sólidos totais e pH e com o mesma temperaturas (B, C e D).

A produção acumulada de biogás para os tratamentos aplicados estão apresentadas na Figura 5 e o percentual da produção de metano está representado na Figura 7. Na Figura 5-A e Figura 7-A, é notória a influência da temperatura sobre a produção de biogás. Na Figura 5-A o início da produção de biogás aos 34°C é elevado logo nos primeiros dias, permanecendo praticamente constante ao longo das semanas, enquanto que este início para a temperatura de 20°C ocorreu na segunda semana atingindo o pico na 5<sup>o</sup> semana e diminuindo a produção. Esse perfil de fermentação refletiu na produção acumulada de biogás, onde a produção na temperatura de 34°C é constante, enquanto que na temperatura de 20°C a produção acumulada de biogás atinge o seu máximo de produção aos 30 dias.

Nas temperaturas de 21,48 e 33,74°C (Figura 5-B e 5-D) a produção de biogás foi mais constante a partir do início da fermentação, independente da

quantidade de material orgânico do afluente. Essa quantidade de material no afluente resultou em maior produção de biogás para quantidades maiores de material orgânico, isso resultou no aumento da velocidade em atingir o pico de produção (Figura 6-B e 6-D).

Massé (2000), trabalhando com resíduos de abatedouros em diferentes temperaturas e tempos de fermentação, observaram que para esse substrato é preciso um tempo de fermentação maior quanto menor for a temperatura, no caso do seu estudo, 82 dias de fermentação a 20°C. Algo parecido pode ter ocorrido nas temperaturas de 20 e 21°C, onde a produção de gás foi inferior quando comparadas aos demais tratamentos, uma vez que o tempo de fermentação foi de 49 dias. Por outro lado, a redução dos componentes dos dejetos nos tratamentos 20 e 21°C não diferiram dos demais, mostrando que todo material passível de ser fermentado foi utilizado, o que pode ser devido à menor eficiência das bactérias psicrófilas, resultando em uma menor quantidade de biogás produzido.

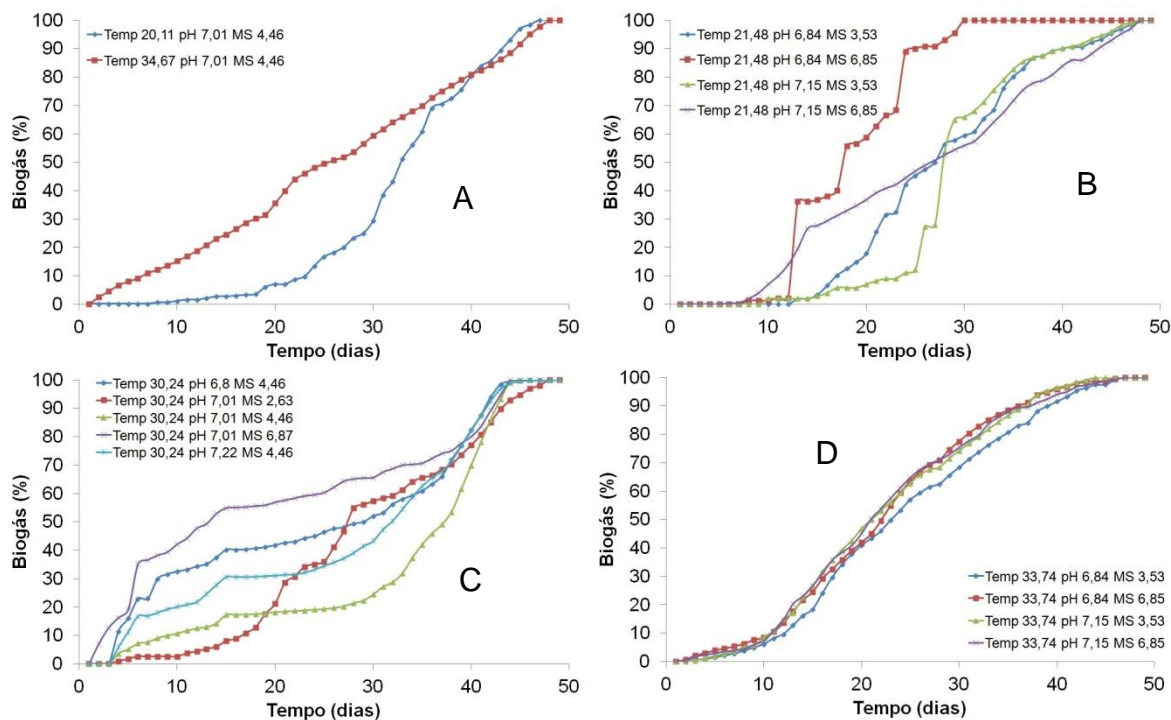


Figura 7: Produção acumulada de biogás em porcentagem do total acumulado em diferentes temperaturas com o mesma porcentagens de sólidos totais e pH (A), diferentes porcentagens de sólidos totais e pH e com o mesma temperaturas (B, C e D).

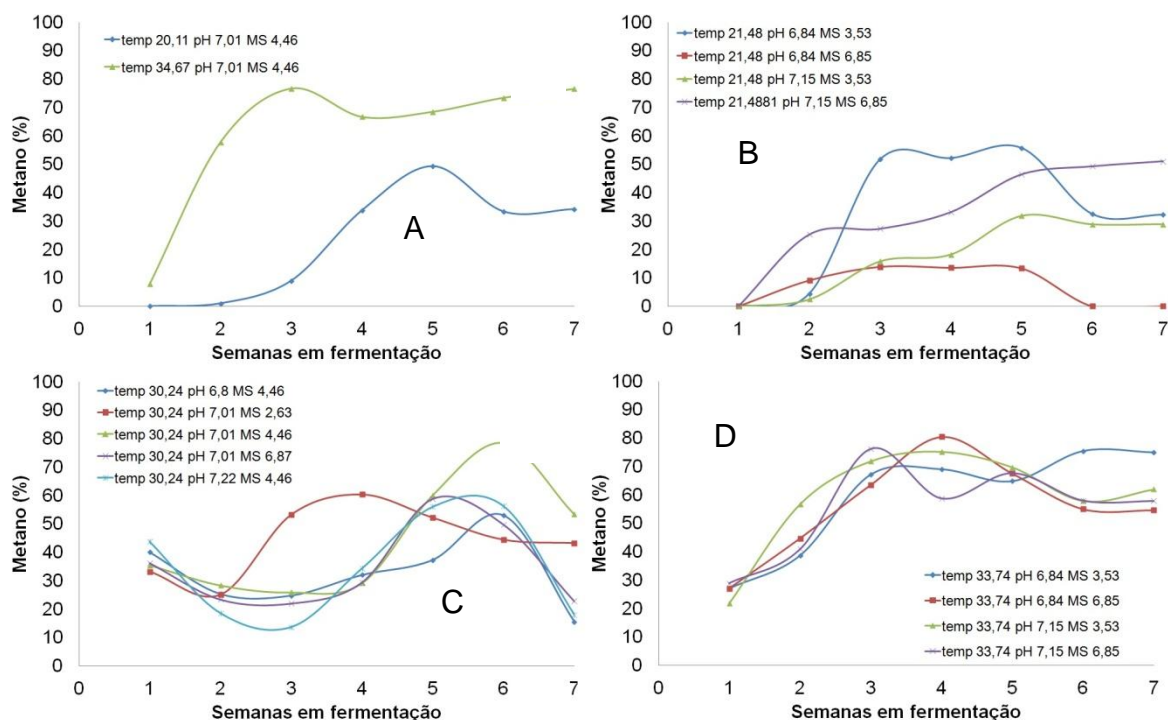


Figura 8: Produção de metano (%) no período experimental em diferentes temperaturas com o mesma porcentagens de sólidos totais e pH (A), diferentes porcentagens de sólidos totais e pH e com o mesma temperaturas (B, C e D).

De forma geral, a produção de biogás e a porcentagem de metano no biogás apresentaram o mesmo comportamento, quando a produção de biogás aumentou, a porcentagem de metano no biogás também aumentou. Observou-se também que o aumento da temperatura aumentou a porcentagem de metano no biogás. Amorim (2004), utilizando dejetos de caprinos em diferentes estações do ano, observou que no período do verão, com média de 30,10°C, a média de produção de metano foi maior que nas demais estações, confirmando o que foi observado nesse trabalho.

Os dados obtidos nesse estudo, representados nas Figuras 4A e 4B, foram usados para desenvolver equações para prever a produção de biogás, de acordo com os parâmetros definidos. Abaixo segue a Tabela 7 onde estão apresentados os resultados de significância das variáveis que foram utilizadas nas equações.

Tabela 7: Tabela de significância dos fatores estudados utilizados na equações de predição da produção diária e acumulada e metano.

<b>Fontes de Variação</b>	<b>P&gt;F</b>
Matéria Seca	0,0008
Dia	<0,0001
Dia <sup>2</sup>	<0,0001
Temperatura x Matéria Seca	0,0010
pH x Matéria Seca	0,0014
Temperatura x pH x Matéria Seca	0,0019
Temperatura x pH x Matéria Seca x Dia	0,0131

Dentre os fatores independentes que significativamente afetaram a produção de biogás (Tabela 7), somente a variável “dia” obteve significância isoladamente para predizer a produção de biogás. A significância observada para as interações entre as demais variáveis, elucida a complexidade da produção de biogás em si, que depende de uma combinação de vários fatores. O pH de início de fermentação, isoladamente, não foi desafiante no experimento, uma vez que os valores de pH ficaram entre os pontos extremos máximos e mínimo de otimização, que segundo Antonopoulou (2008), é entre 6,5 e 8, conseqüentemente seu efeito não foi significativo.

Era esperado que o tipo de fezes influenciasse a produção de biogás, por dificultar o acesso das bactérias ao material orgânico ou por desenvolver tensão superficial que impede o escape do biogás produzido, entretanto esta influência não foi constatada neste estudo. O tipo de biodigestor utilizado (tipo batelada), pode ter interferido neste sentido, uma vez que as cíbalas imersas em um meio aquoso podem ter se dissolvido ou facilitado o acesso das bactérias. É possível que, caso fosse utilizado um biodigestor tipo contínuo talvez esse fator fosse evidente, levantando a necessidade de estudos futuros relacionados à influência do tipo de dejetos caprinos (cíbalas inteiras ou quebradas) em biodigestor tipo contínuo.

O teste de verossimilhança indicou como significativo ( $P < 0,02$ ) os efeitos principais de sólidos totais e dia e as interações de temperatura e sólidos totais, pH e sólidos totais, temperatura, pH e sólidos totais (Tabela 7). Os fatores estudados que não apresentaram significância para o conjunto de dados não foram considerados na equação.

A equação 6 ( $p < 0,0001$  e  $RMSE = 0,13$ ) representa a predição do volume de gás produzido diariamente em função de sólidos totais, dia, temperatura e pH.

$$vol = -0,03(\pm 0,02) - 1,02(\pm 0,30) * ST + 0,012(\pm 0,001) * dia - (0,00023(\pm 0,000024) * dia^2) + ST + (0,14(\pm 0,04) * ST * pH) - (0,004(\pm 0,001) * ST * temp * pH) \text{ (equação 6)}$$

em que:

vol = volume de biogás, m<sup>3</sup>;

ST = sólidos totais do substrato, %;

dia = número de dias em fermentação;

temp = temperatura ambiente, °C;

pH = potencial hidrogeniônico do substrato.

Da mesma forma foi calculada a equação de predição de volume de biogás acumulado, que auxilia na estimativa de uso energético do dejetos e planejamento de atividades. A equação 7 ( $p < 0,0001$  e  $RMSE = 1,87$ ) representa a predição do volume de gás acumulado em função de sólidos totais, temperatura e pH.

$$volac = 4,28(\pm 0,67) - 64,54(\pm 8,18) * ST + 2,28(\pm 0,28) * ST * temp + 8,92(\pm 1,17) * ST * pH - 0,31(\pm 0,04) * ST * temp * pH \text{ (equação 7)}$$

em que:

volac = volume acumulado de biogás em 49 dias, m<sup>3</sup>;

ST = sólidos totais do substrato, %;

temp = temperatura ambiente, °C;

pH = potencial hidrogeniônico do substrato.

Os valores de resíduo e preditos da equação 7 de predição do volume acumulado de biogás estão representados na Figura 8.

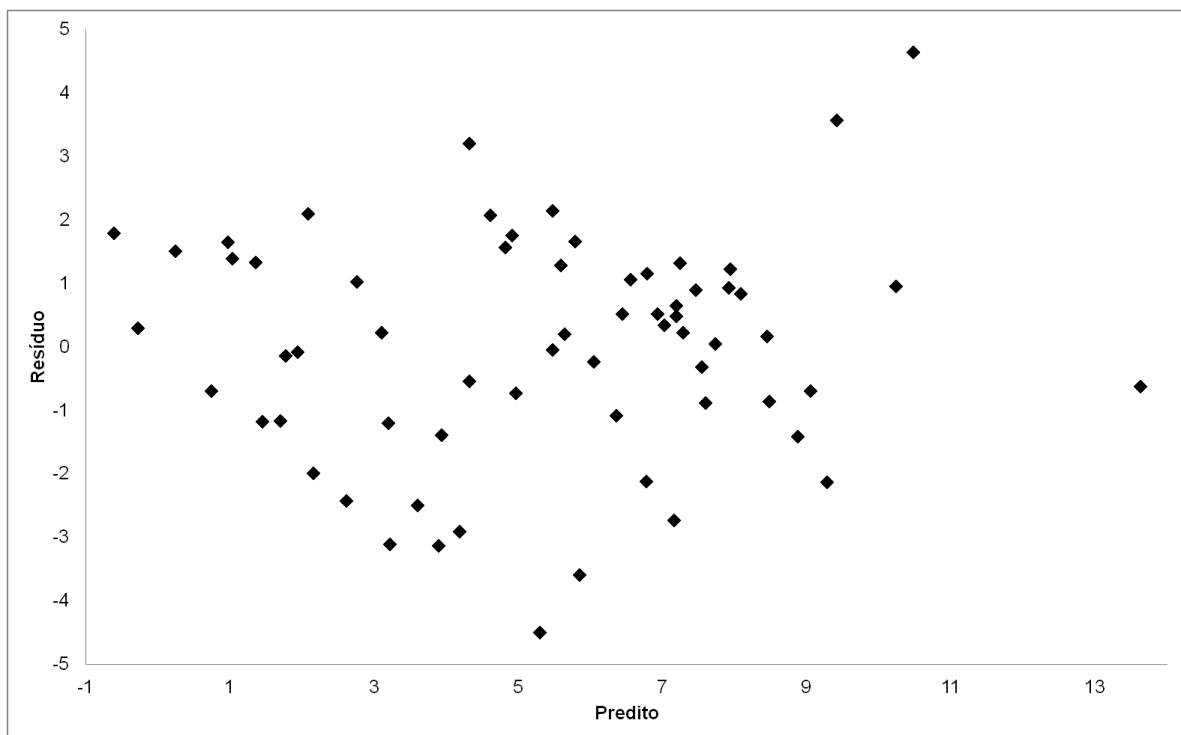


Figura 9: Gráfico do resíduo versus predito para produção acumulada de biogás.

O gráfico do resíduo versus predito para o volume acumulado de biogás, demonstra que a variância dos erros é normal e independente, ou seja, está distribuída de forma igual em torno da média da variância e não possui tendência e é distribuída em forma de forma homogênea pelo gráfico, indicando maior confiabilidade na predição.

A equação 8 ( $p < 0,0001$  e  $RMSE = 29,34$ ) representa a predição da porcentagem de biogás em função de dias.

$$\%CH_4 = 21,01(\pm 4,05) + 1,68(\pm 0,32) * dia - 0,025(\pm 0,006) * dia^2 \text{ equação 8}$$

onde:

$\%CH_4$  = porcentagem de metano no biogás, %;

dia = número de dias em fermentação.

A equação tem representação biológica, pois a produção de metano, quando as condições para que ocorra a fermentação forem atendidas, só irá iniciar após todo oxigênio ser consumido e depois de consumido parte do material passível e fermentação, com a conseqüente liberação de ácidos orgânicos que servirão de base para a produção de metano.

Os valores observados e preditos pelo modelo de predição de porcentagem de metano no biogás estão representados na Figura 9.

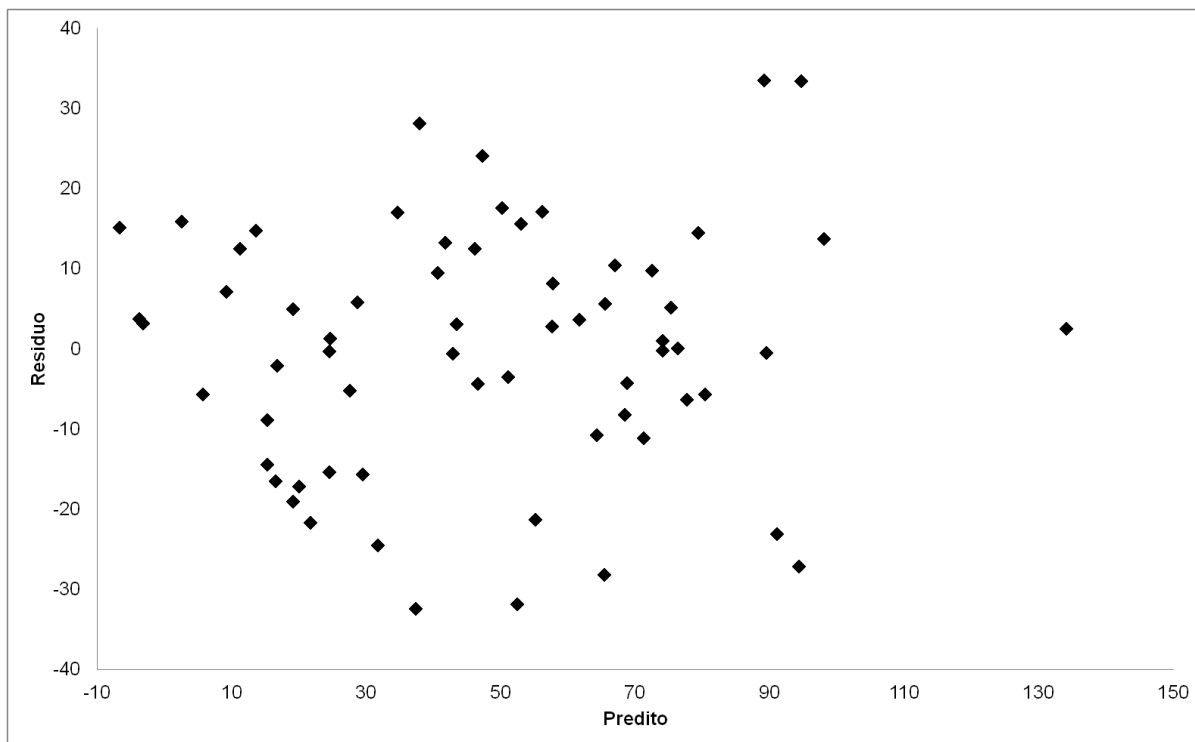


Figura 10: Gráfico de resíduo versus predito para porcentagem de metano no biogás.

O gráfico do resíduo x predito para o volume acumulado de metano, nos indica que a variância dos erros é normal, pois está distribuída de forma igual em torno da média da variância, e essa variância é independente, isso é, ela não possui tendência e é distribuída em forma de nuvem, validando esse modelo como confiável a predição.

O uso de biodigestores para o tratamento de dejetos e produção de biogás é bastante estudada, mas a viabilidade econômica da implantação de biodigestores na caprinocultura ainda é uma área pouco explorada.

#### 4.2. Análise econômica.

Considerando que 46,18% da população de caprinos situam-se em regiões tropicais (FAO, 2013), e em muitas dessas regiões existe carência de recursos, este estudo aponta para o grande potencial da produção de biogás destas regiões, cujo

subdesenvolvimento muitas vezes é limitante para a conscientização ambiental das pessoas que vivem nestes locais. Dessa forma, o tratamento de dejetos aliada ao uso do biogás, fomentado por organizações políticas e privado, poderia contribuir para a diminuição da poluição ambiental, além de gerar energia renovável e fertilizante orgânico, impulsionando a sustentabilidade de pequenos produtores ou da agricultura familiar.

Para que isso ocorra é importante analisar a rentabilidade ou custo envolvido na implantação de um sistema de tratamento de dejetos. Na Tabela 4 são expressos os valores de Payback, RBC, VPL e TIR nos quatro sistemas avaliados.

Tabela 8: Resumo dos resultados obtidos para as propriedades simuladas.

	TN	TR	TNS	TRS
Payback (em anos)	9,47	6,81	9,49	6,79
Relação B/C	1,15	1,34	1,15	1,38
VPL (R\$)	-236.321,97	333.975,59	-275.082,67	383.337,88
TIR (%aa)	3,81	11,58	3,65	11,53
Ponto de nivelamento (R\$)	1,93	1,64	1,99	1,71

Pelos indicadores obtidos os sistemas reformados, ou seja, aqueles cujo custo de implantação é em média 50% inferior que o sistema novo, são economicamente viáveis. Isso significa que o projeto, num horizonte de 10 anos, os lucros sobre o capital imobilizado no projeto são maiores do que os lucros obtidos num outro investimento. A diferença entre os índices econômicos desse sistema reformado se dá pela implantação ou não do sistema sustentável.

A inviabilidade, pelos critérios do Payback, VPL e TIR, dos sistemas TN e TNS é devido ao custo de implantação inicial, sendo este o único fator diferente dos sistemas TR e TRS e quem determina a viabilidade.

Comparado os sistemas não sustentáveis com os sistemas sustentáveis pelos critérios de VPL, TIR e ponto de nivelamento, o uso de técnicas de aproveitamento de dejetos e biogás não melhorou estes índices, somente quando o sistema é reformado, o uso dessas técnicas torna o projeto bastante atrativo. Junges (2010) observam que quando parte do custo de implantação de biodigestores é subsidiada, o projeto de implantação a pequenas propriedades torna-se atrativo.

Cruz (2007) e Lansing, (2008), atestam a viabilidade na implantação de biodigestores em propriedades rurais e enfatizam o pouco ou nenhum auxílio governamental para o tratamento de dejetos o que em muitas vezes inviabilizaria a implantação em propriedades familiares.

A relação B/C para indicar se o projeto é viável deve ser maior que 1. Em todos os cenários estudados esse relação foi maior que 1, sendo os cenários TR e TRS os mais atrativos. Entretanto a relação B/C não deve ser a única análise para decisão de viabilidade de projeto, pois não levam em consideração os juros embutido no capital investido, podendo induzir a uma decisão errônea.

Com relação ao payback, os cenários com sistema reformado obtiveram o seu capital investido em tempo menor que o horizonte do projeto (10 anos). Cervi (2010) estudando a viabilidade do uso do biogás em uma unidade suinícola, observaram paybacks do uso de biogás convertido em energia elétrica de 2 a 7 anos, dependendo da quantidade de energia elétrica utilizada na propriedade.

## 5. CONCLUSÃO

Este estudo indicou que a faixa de temperatura mais favorável à produção de biogás utilizando dejetos de caprinos situou-se entre 30 e 35°C, combinada com pH da biomassa ao redor de 6,5 e 6,8 e com um teor de sólidos totais 6,8%.

Podemos concluir que dejetos de caprinos, sem manejo prévio e em regiões tropicais, são possíveis de serem utilizadas em biodigestores, diminuindo sua carga orgânica e poluente, e que se implantado em propriedade cuja cultura e produção estejam estabelecidas, pode-se diminuir custo de produção e agregar valor ao produto final.

## 6. REFERÊNCIAS

Al-Masri M. R. 2001. Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes. *Bioresource Technology* 77 (2001) 97-100.

AMARAL, C.M.C.; et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. *Cienc. Rural* [online]., vol.34, n.6, pp. 1897-1902 . 2004.

AMARAL, L.A.; SCHOCKEN, D.B.L.; LUCAS JR., J. Redução de Bactérias Indicadoras de Poluição Fecal em Estrume de Aves de Postura Tratados por Biodigestão Anaeróbia. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* [online]. vol.2, n.1 , pp. 27-30. 2000

AMARANTE, J.A.L. Biométhanisation des déchets putrescibles municipaux – Technologies disponibles et enjeux pour le Québec. 2010. 99 f. Dissertação - Centre Universitaire de Formation en Environnement. Centre Universitaire de Formation em Enviroment. Sherbrooke, 2010.

AMORIM, A.C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K.T. Utilização de dejetos produzidos por caprinos como substrato para os processos de compostagem e vermicompostagem. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.25, n.1, p.57-66, 2005.

ANTONOPOULOU, G.; GAVALA, H.N.; SKIADAS, I.V.; ANGELOPOULOS, K.; LYBERATOS, G. Biofuels generation from sweet sorghum: Fermentative hydrogen production and anaerobic digestion of the remaining biomass. *Bioresource Technology*, Volume 99, Issue 1, January 2008, Pages 110-119

APHA. 1995. Standard methods. 19<sup>th</sup> Edition. American Public Health Association, Washington, DC.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. Official Methods of analysis, 13th ed. Washington, DC, 1980. 1011 p.

ATKINSON D.; WATSON, C.A. The environmental impact of intensive systems of animal production in the lowlands. *Animal Science*, v. 63, n. 3, p. 353-61, 1994.

BERNET, N. e BUFFIÈRE, P. (2008). Caractérisation de la mise en oeuvre de la méthanisation. *In* Moletta, R., *La méthanisation* (chap. 4, p. 87-113). Paris, Éditions Tec & Doc. 2008.

BOND, T.; TEMPLETON, M.R. History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable Development* v. 15 p. 347–354, 2011

BROUGHTON, M. J.; THIELE, J. H.; BIRCH, E. J.; COHEN, A. Anaerobic batch digestion of sheep tallow. *Water Research*, v. 32, n. 5, p. 1423-28, 1998.

CAETANO, L. Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás. 1985. 75f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.

CASTRO, L.R; CORTEZ, L.A.B.. 1998. Effect of temperature on the performance of biodigesters with manure. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2, 97-102

CERVI, R.G.; ESPERANCINI, M.S.T.; BUENO, O.C.. Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suínica para geração de energia elétrica. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v. 30, n. 5, 2010.

CEZAR, V.R.S. Efeito da biodigestão anaeróbica sobre a solubilização e a eficiência agronômica de diferentes fontes de fósforo. 2001. 89 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura. Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, 2001.

CHAMY, R., RAMOS, C. 2011. Factors in the determination of methanogenic potential of manure. *Bioresource Technology*, 102, 7673–7677.

CIOABLA, A.E.; IONEL, I.; DUMITREL, G.; POPESCU, F. Comparative study on factors affecting anaerobic digestion of agricultural vegetal residues. *Biotechnology for Biofuels*. v. 5, n. 39. 2012.

COLDEBELLA, A.; SOUZA, S.N.M.; FERRI, P.; KOLLING, E.M. Viabilidade de geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura. *Informe Gepec – Vol. 12, nº2, jul./dez. 2008*

CRUZ, A. & WANDER, A. & SOUSA, A. (2007). “Viabilidade econômica do uso do biodigestor na suinocultura”. XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural – SOBER. Anais. Londrina.

CSIRO - Commonwealth Scientific And Industrial Research Organization - PUBLISHING. Nutrient requirements of domesticated ruminants. Collingwood, Australia. 270p. 2007.

DUBEUF, J.-P.; MORAND-FEHR, P.; RUBINO, R. Situation, changes and future of goat industry around the world. *Small Ruminant Research*, Volume 51, Issue 2, Pages 165-173, 2004.

FAO, 1984. Biogas: what it is, how it is made, how to use it, Edition 31, 52 p.

FERREIRA, A. B. H. *Novo Dicionário Aurélio – Séclo XXI*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986. Software.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO, 1993. Disponível em: < <http://www.fao.org/statistics/en/> > Acesso em: 17 dez. 2012.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; VAN HAANDEL, A.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. F. Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 2, p. 29-52.

GASPAR, R.M.B.L. *Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo – PR*. 2003. 119 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GOES et al. Degradabilidade ruminal da matéria seca e proteína bruta, e tempo de colonização microbiana de oleaginosas, utilizadas na alimentação de ovinos. *Maringá*, v. 33, n. 4, p. 373-378, 2011

JARRET, G. Impact of pig diets with different fibre contents on the composition of excreta and their gaseous emissions and anaerobic digestion. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Available online 29. ISSN 0167-8809,10.1016/j.agee.2011.05.029. June 2011,

JASH, T. AND GHOSH, D.N. Studies on the solubilization kinetics of solid organic residues during anaerobic biomethanation. 1996. *Energy*, Volume 21, Issue 7, Pages 725-730.

JUNGES, D., KLEINSCHMITT, S., SHIKIDA, P., DA SILVA, J.. Análise econômico-financeira da implantação do sistema de biodigestores no Município de Toledo (PR). *Revista de Economia, América do Norte*, 35, mar. 2010.

KOSSMANN, W. AND UTA P., *Biogas Digest. Volume II Application and Product Development*, ISAT and GTZ, GmbH, 2012.

LANSING, S.; BOTERO, R.B.; MARTINJ.F..Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresource Technology*, Volume 99, Issue 13, September 2008, Pages 5881 -5890

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. e NASCIMENTO (2003): M, Fertilizantes e Sustentabilidade na Agricultura: Uma Abordagem Mínero-Química-Metalúrgica, CETEM, [www.cetem.gov.br] / Publicações / Série Estudos e Documentos n° 53.

LEPISTÖ, R.; RINTALA, J. Conversion of volatile fatty acids in an extreme thermophilic (76- 80°C) upflow anaerobic sludge-blanket reactor. *Bioresource Technology*, v. 56, p. 221-27, 1996.

LETTINGA, G., REBAC, S. AND ZEEMAN, G. 2001. Challenge of psychrophilic anaerobic wastewater treatment. Review, *TRENDS in Biotechnology*, 19(9): 363-370.

LI, H. et al. High-rate methane fermentation of lipid-rich food wastes by a high-solids codigestion process. *Water Sci. Technol.*, 45, pp. 143–150. 2002.

LOKSHINA L Y.; VAVILIN V. A. (1999) Kinetic analysis of the key stages of low temperature methanogenesis. *Ecol. Modelling* 117, 285-303. 1999.

LUCAS JR., J, Estudo comparativo de biodigestores modelo indiano e chinês. 1987. 114f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1987.

LUCAS JÚNIOR, J. *Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios*. 1994. 137 f. Tese (Livre-Docência em Construções Rurais) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

MALAFAIA et al.. Determinação das Frações que Constituem os Carboidratos Totais e da Cinética Ruminal da Fibra em Detergente Neutro de Alguns Alimentos para Ruminantes. R. Bras. Zootec., v.27, n.4, p.790-796, 1998,

MARTÍ-HERRERO, J.; CIPRIANO, J. Design methodology for low cost tubular digesters Bioresource Technology, Volume 108, March 2011, Pages 21-27.

MASSÉ, D. I.; DROSTE, R. L. Comprehensive model of anaerobic digestion of swine manure slurry in a sequencing batch. Water Resource, v. 34, n. 12, p. 3087-3106, 2000.

MASSÉ, D. I.; DROSTE, R. L. Microbial interaction during the anaerobic treatment of swine manure slurry in a sequencing batch reactor. Canadian Agricultural Engineering, v. 39, n. 1, p. 35-41, 1997.

MASSÉ, D. I.; LU, D.; MASSÉ, L.; DROSTE, R. L. Effect of antibiotics on psychrophilic anaerobic digestion of swine manure slurry in sequencing batch reactors. Bioresource Technology, v. 75, p. 205-11, 2000.

NORONHA, J.F. **Projetos agropecuários:** administração financeira, orçamento e viabilidade econômica. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1987. 269p.

OSTREM, K. (2004). *Greening Waste: Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes*. Mémoire de maîtrise, Columbia University, New York. 2004.

ORRICO, A.C.A.; ORRICO JUNIOR, M.A.P.; LUCAS JUNIOR, Jorge de. Biodigestão anaeróbia dos dejetos de cabritos Saanen alimentados com dietas com diferentes proporções volumoso e concentrado. R. Bras. Zootec., Viçosa, v. 40, n. 2, 2012.

ÖZTÜRK, M. Degradation of acetate, propionate and butyrate under shock temperature. *Journal of Environmental Engineering*, v. 119, n. 2, 1993.

POULSEN HD, BØRSTING CF, ROM HB AND SOMMER SG (2001):  
Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning.

QUADROS, D. G.; VALLADARES, R.; REGIS, U. Aproveitamento dos Dejetos de Caprinos e Ovinos na Geração de Energia Renovável e Preservação do Meio Ambiente. *Capril Virtual*, Site do Capril Virtual, 04 set. 2007.

RIBEIRO, Glauco Mora et al . Efeito da fonte protéica e do processamento físico do concentrado sobre a terminação de bovinos jovens confinados e o impacto ambiental dos dejetos. *R. Bras. Zootec.*, Viçosa, v. 36, n. 6, Dec. 2007 .. access on 16 Aug. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007000900019>.

SAHA, S.L. Promoting use of the biogas in India. *Electrical Índia*, Calcutta, v.34, p.13-16, 1994.

SAS Institute. 2009. SAS 9.2. SAS Institute Inc., Cary, NC.

SHARMA, V.P.; PAUL, T.M.; ZARIWALA, I.T. Recucling of waste materials their chemical composition and utilization. *Indian Journal of the Animal Science*. 1980.

SRINIVASAN, H.R. Godar gas retrospect an prospects. Bombay. Directorate os Godar Shem, 1978. 23p. 1978.

STEIL L. Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos. 2001. 108f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia), - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.

ST-PIERRE, N.R.; WEISS, W.P.. Technical note: Designing and analyzing quantitative factorial experiments. *Journal of Dairy Science*. V.92. no. 9, 2009.

TEIXEIRA, I. A. M. A. Métodos de estimativa de composição corporal e exigências nutricionais de cabritos F1 (Boer x Saanen) . 2004, 92 p. Tese (Doutorado em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

TORRES CASTILLO, R.; LA BRESLUENGO, P.; MATA ALVAREZ, J. Temperature effect on anaerobic digestion of bedding straw in a one-phase system at different inoculum concentration. *Agriculture Ecosystems and Environment*, v.54, n. 1, p. 55-66, 1995.

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change. Issues relating to reducing emissions from deforestation in developing countries and recommendations on any further process. *Submissions from Parties. 2006*

United-Tech (s.d.). Anaerobic Digestion. *In* United-Tech. *BZT Waste Digester*, [En ligne]. <http://www.united-tech.com/wd-anaerobicdigestion.html> (Page consultée le 28 février).

USDA, United States Department of Agriculture. Agricultural Waste Management Field Handbook, Chapter 4 - Agricultural Waste Characteristics. March, 2008. On-line: <http://directives.sc.egov.usda.gov/viewerFS.aspx?id=3851>

VARTAK, D.R.; ENGLER, C.R.; MCFARLAND, M.J.; RICKE, S.C.. Attached-film media performance in psychrophilic anaerobic treatment of dairy cattle wastewater *Bioresource Technology*, Volume 62, Issue 3, December 1997, Pages 79-84

VENGLOVSKY, J.; MARTINEZ, J.; PLACHA, I. Hygienic and ecological risks connected with utilization of animal manures and biosolids in agriculture. *Livestock Science*, Volume 102, Issue 3, July 2006, Pages 197-203.

WESTERMAN, P.W.; BICUDO, J.R. Management considerations for organic waste use in agriculture. *Bioresource Technology*, Volume 96, Issue 2, January 2005, Pages 215-221

WITTMANN, M.; SZUCS, E. Report on the problems of the large scale pig farms in Europe. *Pig News Information*, 18 (3) (1997), pp. 87-90

ZEIKUS J.G. Chemical and fuel production by anaerobic bacteria. *Annual Review of Microbiology*, v.34, p.423-64, 1980.

## APENDICE

Potenciais médios de produção de biogás (m<sup>3</sup>/kg) para esterco, sólidos totais, sólidos voláteis e suas reduções.

Tratamentos			m <sup>3</sup> de biogás ao dia	Adicionado		Reduzido		Esterco
Temp	pH	MS		ST	SV	ST	SV	
20,11	7,01	4,46	0,08	0,30	0,59	0,60	2,07	0,14
21,48	6,84	3,53	0,04	0,17	0,35	0,36	0,71	0,14
21,48	6,84	6,85	0,01	0,04	0,05	0,07	0,10	0,03
21,48	7,15	3,53	0,02	0,10	0,20	0,21	0,38	0,08
21,48	7,15	6,85	0,09	0,22	0,30	0,45	0,63	0,18
30,24	6,8	4,46	0,08	0,30	0,57	0,51	1,17	0,10
30,24	7,01	2,63	0,11	0,72	1,34	1,58	3,20	0,24
30,24	7,01	4,46	0,13	0,50	0,94	0,87	1,89	0,17
30,24	7,01	6,87	0,08	0,20	0,30	0,38	0,54	0,07
30,24	7,22	4,46	0,12	0,45	1,06	0,64	1,72	0,15
33,74	6,84	3,53	0,17	0,80	2,07	1,27	3,66	0,45
33,74	6,84	6,85	0,22	0,55	0,83	1,24	2,25	0,31
33,74	7,15	3,53	0,16	0,74	1,91	1,32	4,48	0,41
33,74	7,15	6,85	0,14	0,34	0,52	0,70	1,00	0,19
34,67	7,01	4,46	0,15	0,57	1,11	1,37	2,53	0,42

Composição química com base na matéria seca (% MS) e respectivas reduções após 49 dias de biodigestão anaeróbia, em substratos preparados com dejetos de cabras Saanen.

Temperatura	Tratamentos			FDN	FDA	LIG	NITRO
	pH	MS					
20,1191	7,01	4,46	Inicial	53,63	18,46	11,21	1,53
			Final	14,33	6,35	11,51	0,33
			% Red.	73,28	65,61	-2,68	78,28
21,4878	6,84	3,53	Inicial	46,99	27,31	14,39	1,36
			Final	30,94	10,88	14,60	0,24
			% Red.	34,16	60,16	-1,42	82,16
21,4878	6,84	6,85	Inicial	47,28	24,89	14,20	1,39
			Final	29,41	10,73	14,60	0,24
			% Red.	37,81	56,91	-2,78	82,62
21,4878	7,15	3,53	Inicial	46,99	27,31	14,39	1,40
			Final	31,83	11,79	14,60	0,24
			% Red.	32,25	56,83	-1,42	82,84
21,4878	7,15	6,85	Inicial	47,28	24,89	14,20	1,42
			Final	29,32	11,91	14,60	0,24
			% Red.	37,98	52,16	-2,78	83,03
30,2459	6,8	4,46	Inicial	37,11	20,94	7,08	1,70
			Final	22,60	11,48	7,38	0,28
			% Red.	39,11	45,18	-4,44	83,51
30,2459	7,01	2,63	Inicial	36,51	26,18	7,43	1,56
			Final	20,11	10,88	7,73	0,27
			% Red.	44,93	58,43	-4,04	82,40
30,2459	7,01	4,46	Inicial	37,11	20,94	8,58	1,58
			Final	21,30	11,34	8,88	0,28
			% Red.	42,60	45,86	-3,50	82,21
30,2459	7,01	6,87	Inicial	42,34	23,81	8,68	1,45
			Final	18,37	12,67	8,93	0,24
			% Red.	56,62	46,78	-2,88	83,27
30,2459	7,22	4,46	Inicial	37,11	20,94	7,08	1,28
			Final	23,46	9,47	7,88	0,28
			% Red.	36,78	54,76	-4,12	78,33
33,7434	6,84	3,53	Inicial	36,56	20,52	9,44	1,58
			Final	13,45	5,01	9,90	0,26
			% Red.	63,22	75,60	-4,87	83,48
33,7434	6,84	6,85	Inicial	38,44	21,97	8,81	1,55
			Final	13,04	3,27	9,22	0,26
			% Red.	66,08	85,13	-4,71	83,15
33,7434	7,15	3,53	Inicial	36,56	20,52	9,44	1,58
			Final	12,37	6,21	9,74	0,26
			% Red.	66,18	69,75	-3,13	83,49
33,7434	7,15	6,85	Inicial	38,44	21,97	8,81	1,48
			Final	20,65	4,76	9,11	0,26
			% Red.	46,29	78,31	-3,41	82,36
34,6704	7,01	4,46	Inicial	47,09	25,15	10,10	1,08
			Final	31,06	11,20	10,40	0,22
			% Red.	34,04	55,49	-2,97	72,52

Índices zootécnicos utilizados para o cálculo do número de animais no rebanho, produção leiteira, animais mortos e animais para venda.

<b>Índice</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Ciclos de parições por ano	1	Unidade
Fertilidade	85	%
Prolificidade	1,5	Animais/parto
Relação de matrizes por reprodutor	30	Unidade
Taxa de reposição de Machos	30	%
Taxa de reposição de Fêmeas	25	%
Mortalidade até 3 m	0,8	% a.m.
Mortalidade 4 a 6 m	0,6	% a.m.
Mortalidade acima de 6 m	0,4	% a.m.
Período de Gestação	5	Meses
Período de Descanso	1,5	Meses
Intervalo de Partos	8	Meses
Período de Serviço	3	Meses
Período de Lactação	6,5	Meses