

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM BIODIGESTORES ABASTECIDOS COM DEJETOS DE CAPRINOS

Camila Ferreira Matos¹, Juliana Lobo Paes², Bruna da Silva Gomes Pereira³, Diego José de Souza Pereira⁴, Ícaro da Silva Misquita⁵

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Brazil, e-mail: camilamatos1@yahoo.com.br

²Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Brazil, e-mail: julianapaes@ufrj.br

³Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Brazil, e-mail: bruninhajh@yahoo.com.br

⁴Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Brazil, e-mail: diego.pereira1502@gmail.com

⁵Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Brazil, e-mail: icaromisquita@gmail.com

RESUMO

A biodigestão anaeróbica é uma forma alternativa para o tratamento de resíduos produzidos pela caprinocultura, que apresenta alta capacidade poluidora devido a sua carga orgânica, causando impactos ao meio ambiente. Por outro lado, esses resíduos podem ser utilizados como biofertilizantes orgânicos e produzir biogás para posterior utilização como fonte de energia. O presente trabalho foi realizado no laboratório de Eletrificação Rural e Energias Alternativas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, com o objetivo de avaliar a produção de biogás a partir da digestão anaeróbica de dejetos de caprinos. Utilizaram-se três biodigestores de bancada de abastecimento descontínuo, que estiveram em funcionamento por 73 dias. As avaliações realizadas foram análises de produção de biogás e seu índice de explosividade. Observou-se produção média acumulada de biogás de 1,25 L e 100% de explosividade nos primeiros 50 dias de experimento, seguidos por 78% nos últimos 6 dias. Com esses resultados é possível demonstrar grande eficiência do sistema avaliado, podendo ser utilizados como ferramenta para um melhor gerenciamento de resíduos rurais.

Palavras-chave: Biodigestão, Explosividade, Metano.

ABSTRACT

The anaerobic biodigestion is an alternative form of treating discarded sediments from the goat breeding, that shows a high polluting capacity due to its organic load, causing environmental impact. On the other hand, organic biofertilizers can be used in order to produce biogas for posterior usage as an energy source. The present task was performed in the Rural Electrification and Alternative Energy Lab at the Universidade Federal do Rio de Janeiro in order to evaluate the biogas from the caprine sediment anaerobic biodigestion. Three discontinuous refueling stand biodigestors were used that were in operation of 73 days where were performed biogas explosive index and quantification. An average 1,25 L biogas production with 100% explosive average in the first 50 days and 78% in the last 6 days. Thus, these results can be used as a tool for a better rural sediment management.

Keywords: Digestion, Explosive, Methane.

1. INTRODUÇÃO

A caprinocultura no Brasil é uma atividade agropecuária predominantemente praticada por pequenos e médios produtores rurais. Entretanto, sofre um forte aumento na demanda tanto nacional como mundial (MARTINS, 2012). Segundo dados do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, a caprinocultura vem se destacando no agronegócio, atribuindo ao Brasil o 18º lugar no ranking de exportações (MAPA, 2013).

A crescente demanda pela criação de animais ocasiona uma intensa geração de resíduos, aumentando assim os problemas relacionados a questão ambiental e de saúde pública em relação a sua disposição final. Dessa forma, vê-se a necessidade de aproveitamento desses resíduos para fins energéticos visando à autossuficiência da propriedade agrícola em função da disponibilidade da biomassa.

Caso os resíduos provenientes do sistema de produção não sejam tratados de forma correta, tem-se como consequência a geração de problemas tanto para as populações rurais quanto para urbanas. Ainda, pode haver efeitos nocivos à fauna e flora, acarretando o desequilíbrio da cadeia alimentar. Uma alternativa para o aproveitamento desses resíduos é o processo anaeróbico em biodigestores. Esses são compostos por câmaras de fermentação anaeróbica, onde ocorre a transformação da matéria orgânica em biogás e biofertilizante.

A implantação de biodigestores na zona rural é um projeto viável tanto para o meio ambiente quanto para o produtor, visto que é uma maneira de viabilizar a degradação anaeróbica natural, diminuir o desmatamento de forma desordenada, reaproveitar os resíduos sólidos gerados e reduzir emissão de odores e gases poluentes para a atmosfera. Em relação ao aspecto econômico, os biodigestores contribuem para tornar os produtores rurais autossustentáveis energeticamente e reduzem a dependência dos fertilizantes industriais (RANZI et al., 2004).

A geração de biogás acarreta a produção de energia elétrica e de combustível em substituição ao gás natural e gás liquefeito de petróleo (ESPERANCINI et al., 2007). A eficiência energética do biogás produzido a partir de esterco caprino foi comprovada por Canafistula et al. (2008). Segundo esses autores, embora o biogás produzido não conseguisse prover a autossuficiência do sistema para acionar um motor bomba com o objetivo de irrigar uma área de pastagem, houve uma redução de 30% do volume de gasolina.

Além da produção de biogás, os resíduos da biodigestão podem ser usados como biofertilizante agrícola, pois apresentam altos teores de nitrogênio e outros nutrientes oriundos da perda de carbono (SILVA et al., 2014), baixa DQO e teor de sólidos totais e incremento nos teores de fósforo total (ARRUDA et al., 2002),

Ao comparar biofertilizantes de diferentes animais, Canafistula et al. (2008) verificou que os de origem caprina apresentou maiores concentrações de nutrientes essenciais para as plantas, tais como nitrogênio, fósforo e potássio se comparado aos de origem bovina. Além disso, os caprinos apresentaram menor relação Carbono/Nitrogênio quando comparado com biofertilizante de bubalinos, suínos e bovinos. Isso significa que os componentes orgânicos presentes no biofertilizante de origem caprina tem uma decomposição mais lenta, o que confere melhor absorção para as plantas (CANAFISTULA et al., 2008).

A elevada eficiência do biofertilizante quando comparado aos fertilizantes químicos se dá pelo fato do material já se encontrar em avançado grau de decomposição, facilitando a solubilização de alguns nutrientes (ARRUDA et al., 2002).

A prática de utilização de biodigestores certamente aliviaria o país da importação de derivados do petróleo, por conta da imensa capacidade de produzir energia a baixo custo derivada dos dejetos animais. No entanto, ainda são escassos os estudos para a implantação de

biodigestores em pequenas escalas de produção visando diferentes resíduos agrícolas. Essa tecnologia é encontrada em regiões com forte presença de atividade de suinocultura, em especial nos estados da região Sul do Brasil (ESPERANCINI et al., 2007).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbica em biodigestores abastecidos com dejetos de caprinos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Eletrificação Rural e Energias Alternativas, do Instituto de Tecnologia - Departamento de Engenharia, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ.

A matéria-prima utilizada como substrato para os biodigestores foi dejetos de caprinos da raça *Capra hircus*, proveniente do setor da caprinocultura do Instituto de Zootecnia da UFRRJ. O plantel de animais consistiu em 55 cabeças, com idades de 4 meses à 9 anos, dispostos em cinco hectares em sistema semi confinado. Em determinados períodos do dia, os animais permanecem abrigados no aprisco de piso ripado liberando suas fezes e urina. Este esterco retido no solo batido por baixo do piso ripado foi coletado para o experimento.

Os animais recebiam uma alimentação baseada em concentrado (mineral, farelo de milho, trigo e soja), aproximadamente 200 g por dia, e volumoso (pasto e feijão guandu (*Cajanus cajan*s)). O alimento volumoso era consumido a vontade, no pasto do próprio aprisco, e servido no coxo, enquanto que o concentrado era fornecido de maneira controlada.

Para o abastecimento dos biodigestores, coletaram-se os dejetos produzidos em 24 h, a fim de evitar fermentação excessiva e perdas na geração de biogás. A partir do material coletado foi preparado o inoculo e substrato utilizando-se água para a diluição. Adotou-se o teor de sólidos totais em 8%, considerando adequado à biodigestão anaeróbica de dejetos de caprinos (MOGAMI, 2005). Adotou-se o sistema de abastecimento descontínuo.

O potencial de produção de biogás foi determinado em função de sua produção diária e índice de explosividade. Finalizado a coleta de dados, o gasômetro foi esvaziado utilizando-se o registro de descarga do biogás. O experimento foi realizado em três unidades experimentais. Os biodigestores foram avaliados por todo o tempo em que apresentaram produção de biogás, não se estabelecendo tempo de retenção. O experimento foi realizado a temperatura ambiente e sem correção do pH.

3.1. Construção dos protótipos de biodigestores

Inicialmente foram construídos três protótipos de biodigestores modelo indiano constituídos, basicamente, por dois cilindros retos de policloreto de polivinila (PVC) com mesmo comprimento (0,30 m) e diâmetros diferentes inseridos em um recipiente de maior diâmetro. Cada biodigestor foi composto por câmara de biodigestão fixada no interior do recipiente, gasômetro e manômetro de coluna d'água. A câmara foi utilizada para acondicionar o substrato e o gasômetro para armazenar o biogás gerado. O recipiente de diâmetro maior foi preenchido com água a fim de formar um "selo d'água".

A câmara de biodigestão foi construída por um tubo fechado por conexão CAP, ambos em PVC com diâmetro de 0,10 m, e capacidade de 0,0023 m³. Uma mangueira de silicone foi acoplada a este tubo e conectada ao manômetro de coluna d'água. Antes de começar a

produção de biogás, o nível de água em ambos os lados do manômetro permaneceu o mesmo, ou seja, a diferença de pressão inicial em cada sistema foi nula.

O gasômetro foi montado com tubo e CAP em PVC com diâmetro de 0,15 m. No CAP foi conectada, por meio de um septo de borracha, uma mangueira de silicone com válvula de três vias para a coleta do biogás produzido.

A câmara de biodigestão manteve-se inserida no interior do gasômetro, de tal forma que o espaço existente entre a parede externa do cilindro interior e a parede interna do cilindro exterior comporte um volume de água (“selo hidráulico”) com profundidade de 30 cm.

O sistema, câmara de biodigestão e gasômetro, foram inseridos no interior de um recipiente com volume de 20 L preenchido com água, para servir de suporte para o gasômetro flutuar, proporcionar condições anaeróbias e armazenar o gás produzido. Assim, para o funcionamento do gasômetro foi adotado o sistema flutuante. Por este sistema, à medida que ocorre a produção de biogás, há deslocamento na direção vertical do gasômetro. Esse deslocamento foi medido por uma régua graduada, de 0 a 50 cm, que se encontrava fixa ao gasômetro; os valores de deslocamento foram utilizados posteriormente no cálculo do volume de biogás produzido.

O manômetro foi construído com papel milimetrado colado em uma tábua de 30 x 30 cm e uma mangueira de 10 mm de espessura e aproximadamente 1,20 m de comprimento.

Os biodigestores foram dispostos sobre uma bancada, em condições de temperatura ambiente, abrigados da luz solar e chuvas.

3.2. Procedimento experimental

3.2.1. Preparo do inóculo

Para a preparação do inóculo, inicialmente foi feita a análise de determinação de sólidos totais, com base na metodologia descrita por APHA (2005). Dessa forma, pesou-se aproximadamente 30 g dejetos in natura em seis cadinhos, para a determinação do peso úmido (PU). Em seguida, foram levadas para a estufa a 105°C, até atingirem peso constante, de forma a determinar o peso seco (PS). O teor de sólidos totais foi determinado por meio da Equação 1.

$$U = \frac{P \cdot U - PS}{PU} \times 100 \quad ST = 100 - U \quad (1)$$

Em que:

ST = Teor de sólidos totais, % ;

U = Teor de umidade, % ;

PU = Peso úmido da amostra, g; e

PS = Peso seco da amostra, g.

A partir dos resultados encontrados na análise de sólidos totais, determinou-se a quantidade de água a ser adicionada à matéria prima a fim de se obter uma concentração de 8%. As amostras de inóculo foram armazenadas em recipientes de 2 L abertos durante oito dias para completar a fase aeróbia. Após esse período, conduziu-se a fase anaeróbica com o

armazenamento dos recipientes fechados durante 30 dias em temperatura ambiente no laboratório.

3.2.2. Preparo do substrato para abastecimento dos biodigestores

Inicialmente fez-se a análise de sólidos totais nos dejetos frescos *in natura*, seguindo a metodologia descrita no subitem 3.2.1, com o mesmo objetivo de obter uma concentração de 8% de sólidos totais no substrato.

Os biodigestores foram abastecidos com substrato contendo 80% dejetos frescos e 20% de inóculo, e permaneceram em funcionamento durante o tempo de retenção de 73 dias.

3.2.3. Análise do biogás produzido

3.2.3.1. Volume do biogás

O volume de biogás produzido diariamente foi determinado pelo produto do deslocamento vertical do gasômetro e sua área da seção transversal interna de 0,02 m².

A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20 °C foi efetuada com base no trabalho de CAETANO (1985), no qual, pelo fator de compressibilidade (Z), o biogás apresenta comportamento próximo ao ideal.

Conforme descrito por SANTOS (1997), para a correção do volume de biogás utilizou-se a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac (Equação 2).

$$\frac{V_0 \times P_0}{T_0} = \frac{V_1 \times P_1}{T_1} \quad (2)$$

Em que:

V_0 = volume de biogás corrigido, m³;

P_0 = pressão corrigida do biogás, 10.322,72 mm de H₂O;

T_0 = temperatura corrigida do biogás, 293,15 K;

V_1 = volume do gás no gasômetro, m³;

P_1 = pressão do biogás no instante da leitura, mm de H₂O; e

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

Considerando-se a pressão atmosférica de Seropédica igual a 10350,11 mm de água e pressão média conferida pelos manômetros de 22,1 mm de H₂O, obteve-se, como resultado, a seguinte expressão para a correção do volume de biogás (Equação 3).

$$V_0 = \frac{V_1}{T_1} \times 293,9283 \quad (3)$$

Em cada leitura, mediu-se a pressão (mm H₂O) do biogás por meio da utilização de um manômetro de coluna d' água acoplado ao biodigestor e temperatura ambiente (°C) com o uso de um termômetro.

Os potenciais de produção de biogás foram calculados utilizando-se dos dados de produção diária e das quantidades de substrato nos biodigestores. Os valores foram expressos em L de biogás por L de substrato dejetos ou de sólidos totais.

3.2.3.2. Determinação do índice de explosividade do biogás

Após cada leitura de deslocamento da campânula, media-se o Índice de Explosividade (% LEL) do biogás gerado por meio de Explosímetro Digital Portátil, modelo EXP 200 da marca InstruTherm. Que tem como objetivo, quantificar a concentração de determinado componente em uma mistura de gases, nesse caso, o metano. As leituras se iniciaram a partir do 16º dia de biodigestão, quando realizou-se a aquisição do aparelho. O contato entre o gás e o aparelho foi feito por uma mangueira de borracha, conectada na válvula de saída na campânula.

Por último, foi realizado o teste de queima, o qual consistiu em verificar a queima do biogás proveniente dos biodigestores para detecção de presença de metano em quantidade suficiente para manter uma chama. Os testes foram realizados por meio de um Bico de Bunsen. Uma mangueira foi acoplada à saída do gás na campânula do biodigestor. Se ao colocar fogo no Bico de Bunsen a chama continuasse acesa, confirmava-se a queima. Após a detecção da mesma, este teste não seria mais necessário, sendo efetuado, portanto, apenas no início do processo.

Após finalizadas as análises do biogás, os gasômetros foram zerados, utilizando-se o registro de descarga do biogás.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Produção do biogás

Apresenta-se na Figura 1 a distribuição da produção de biogás (L) e na Figura 2 a produção de biogás acumulado (L) oriundos da biodigestão anaeróbica dos dejetos de caprino.

Na Figura 1, pode-se observar que a produção de biogás iniciou 24 h após o início do abastecimento dos biodigestores. Provavelmente este fenômeno deve ter ocorrido devido a utilização do inóculo proveniente do mesmo substrato. De acordo com Xavier et al. (2010), a adição de inóculo permite as maiores produções de biogás.

Verifica-se ainda, na Figura 1, um pico de produção de biogás de 0,20 L após o oitavo dia de iniciado o processo, seguido por uma tendência ao decréscimo. Resultados obtidos por Xavier et al. (2010), Silva et al. (2013) e Soethe (2014) ao avaliar a biodigestão anaeróbica de dejetos de vaca leiteira, esterco ovinocaprino, manipueira e adição de 25% de biofertilizante, rejeitos piscícolas e dejetos de suínos, respectivamente, corroboram ao deste estudo. Esses autores verificaram maiores produção de biogás no início do processo de biodigestão, seguido por um decréscimo.

No trabalho desenvolvido por Costa (2009), a produção de biogás em biodigestores abastecidos com dejetos de suíno apresentou o pico de produção após 15 dias de biodigestão, seguida de redução em torno do 60º dia. Segundo esse autor, o conhecimento da faixa de

maior produção de biogás é fundamental para o dimensionamento do aproveitamento do biogás gerado.

Em termos de volume acumulado é possível observar que a partir de 50 dias da data do abastecimento, a produção de biogás tende a estabilizar (Figura 2). Já no trabalho desenvolvido por Costa (2009), a produção de biogás acumulada manteve-se constante a partir do 56º dia de biodigestão.

Esses comportamentos podem ser explicados pelo aumento no metabolismo dos microrganismos promotores da digestão anaeróbia diante da maior oferta de substrato, ou seja, em menores tempos de retenção hidráulica (KUCZMAN et al., 2011).

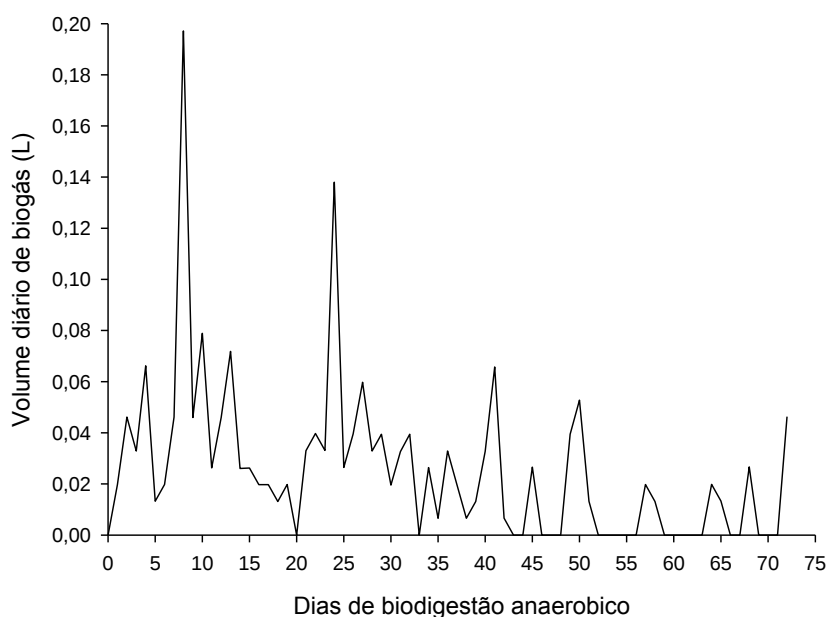


Figura 1 - Distribuição da produção de biogás (L) gerado a partir da biodigestão anaeróbica dos dejetos de caprino.

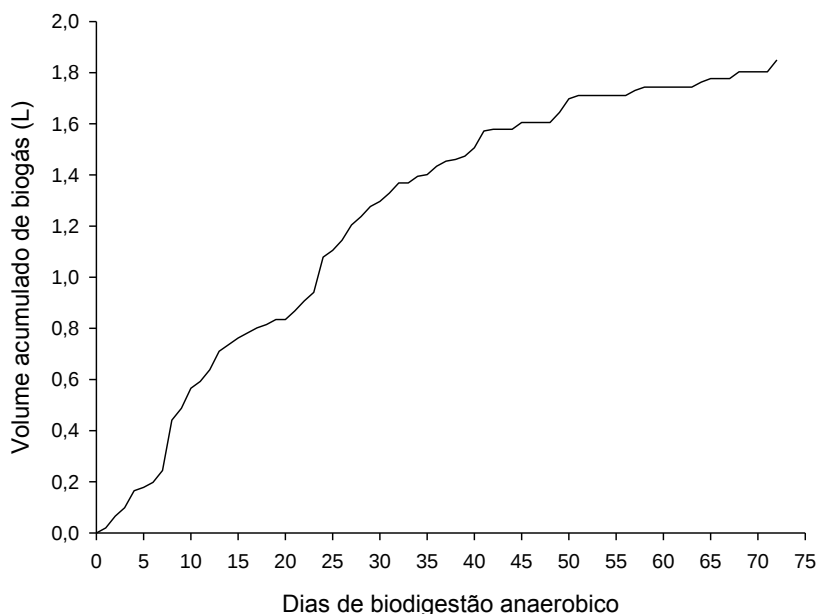


Figura 21 - Produção de biogás acumulada (L) gerado a partir da biodigestão anaeróbica dos dejetos de caprino.

A produção média diária de biogás gerado a partir de dejetos de caprino foi de 0,026 L, enquanto que a acumulada de 1,25 L após 73 dias de biodigestão. Resultado semelhante de produção de biogás foi reportado por Inoue (2008) e Soethe (2014), ao utilizar biodigestores com gasômetros medindo área de seção transversal de 0,01 m² e abastecidos com manipueira e massa visceral de tilápia juntamente com dejetos de suíno, respectivamente. De acordo com Inoue (2008), a produção média acumulada após 131, 118 e 108 dias de biodigestão foi de 1,32, 0,80 e 1,22 L de biogás para as concentrações de sólidos totais de 4,5, 6,0 e 8,0%. No experimento realizado por Soethe (2014) após 63 dias de biodigestão dos rejeitos piscícolas e dejetos de suínos nas proporções 25:75, 50:50, 75:25 e 100 apresentou médias acumuladas de 0,9390, 2,5457, 0,9722 e 2,1849 L, respectivamente.

A fim de eliminar as interferências do teor de água presente na biomassa, o potencial deve ser expresso em termos de sólidos totais (AMARAL et al., 2004). Neste caso, o potencial de produção, quando corrigidos para 20 °C e 1 atm foi 0,946 L de biogás por kg de sólidos totais adicionados. Já o potencial de produção de biogás por L de substrato foi em média 0,53 L.

Assim como o ocorrido na produção diária, observa-se coerência entre os resultados obtidos no trabalho desenvolvido por Inoue (2008). De acordo com o autor, o potencial de produção encontrado foi 1,56 L de biogás por kg de sólidos totais e 0,61 L de biogás por L de substrato, ambos para o teor de sólidos totais de 8%.

No entanto, no trabalho desenvolvido por Silva et al. (2013), verificou-se que no decorrer de 120 dias a produção de biogás apresentou uma média semanal de 5,36 L kg⁻¹ de substrato. Já Quadros et al. (2009) em trabalho sobre a biodigestão anaeróbica de dejetos caprinos e ovinos em biodigestor modelo Canadense (PVC flexível) de alimentação contínua, atingiram uma produção média de biogás de 3 L kg⁻¹ de substrato. Para a biodigestão de

dejetos de vaca leiteira com adição de 40% de inóculo, Xavier et al. (2010) reportou a produção de biogás de 0,07 m³ por kg de substrato com o tempo de retenção hidráulica de 45 dias.

Comparando esses resultados com o obtido nesse estudo, verifica-se que o potencial de produção de biogás de dejetos de caprinos foram inferiores aos encontrados na literatura. Os potenciais de produção são definidos, a partir da interação de fatores físico, químico e ambientais, que culminam em uma melhor forma de expressar a capacidade produtiva de um sistema (INOUE, 2008). Assim essa diferença pode ser justificada devido a fatores como características do biodigestor, composição da biomassa, temperatura, pH e tempo de retenção hidráulica (INOUE, 2008).

Considerando as características de construção, verifica-se que maiores valores de potencial de produção de biogás pode estar associado a biodigestores de maior dimensão. O modelo de biodigestor e capacidade volumétrica da câmara para a biodigestão de dejetos oriundo de caprino foram semelhantes ao usado para a manipueira (INOUE, 2008) e para víscera de peixe (SOETHE, 2014). Como provável consequência, embora sejam substratos diferentes, tanto a produção diária quanto o potencial de produção de biogás da manipueira e das vísceras piscícolas foram bastante próximos ao encontrado com os dejetos da caprinocultura. No entanto, este comportamento não foi observado por Xavier et al. (2010) e Silva et al. (2013), em que o gasômetro de biodigestor tipo indiano possuía área da seção transversal interna igual 0,28 e 0,13 m², respectivamente, e por Quadros et al. (2009) que utilizou biodigestor de modelo canadense com capacidade de 33 m³.

4.2. Índice de explosividade

O índice de explosividade de um gás é definido pelo seu LEL (Lower Explosive Limit) ou LIL (Limite Inferior de Inflamabilidade). Esse valor quantifica a concentração mínima de determinado gás inflamável, que em contato com o ar atmosférico, torna-se capaz de provocar a combustão do produto a partir de uma fonte de ignição. Valores de concentração abaixo do LEL, não apresentam características de explosão, tendo visto que apresentam baixa concentração do gás inflamável (SILVA et al., 2010; OVIEDO, 2007).

Cada substância inflamável tem o seu valor de LEL que é uma leitura efetiva, dada em porcentagem que varia de 0 a 100%. Para o metano, o limite inferior de inflamabilidade, situa-se em concentração de 5% e o limite superior em 15%. Este último significa a máxima concentração do gás, acima da qual ele não poderá mais sofrer combustão, por apresentar falta de oxigênio e excesso do gás inflamável (SILVA et al., 2010; OVIEDO, 2007). Quando o explosímetro apresentar 100% de LEL, significa que, naquele momento, há 5% de metano existente na mistura do biogás (SILVA et al., 2010).

De acordo com os resultados deste trabalho, obteve-se a média de 100% de LEL nos primeiros 50 dias de experimento, e para os últimos 6 dias, 78% de LEL. Além dessa análise, foi possível verificar presença de metano no biogás gerado após 24 h de biodigestão devido sua queima na presença de uma fonte de ignição (fogo).

Comportamento esse que pode ser explicado pela estabilização na produção de biogás que ocorreu a partir do 50º dia, conferindo assim uma concentração de metano presente no biogás proporcional ao volume de gás gerado, já que os maiores valores de LEL foram observados nos dias em que havia maior produção de biogás. Isso significa que, na maior parte do processo de biodigestão, foi verificada a presença da mínima quantidade de metano

necessária para promover a combustão do gás. Contudo, não foi encontrado na literatura trabalhos envolvendo tal discussão sobre o referido assunto.

5. CONCLUSÕES

Para as condições desse experimento e fundamentado nos resultados obtidos, pode-se concluir que o processo de biodigestão anaeróbica é uma excelente alternativa de tratamento para os resíduos gerados da caprinocultura devido a produção de biogás e elevado índice de explosividade por 50 dias.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, C. M. C.do.; AMARAL, L.A. do; JUNIOR, J.de L; NASCIMENTO,A. A .do.; FERREIRAS, de S. D.;MACHADO, M.R.F . Biodigestão anaeróbica de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. Revista Ciência Rural, Santa Maria. v.34, n.6, 2004.

ANGONESE, A.R.; CAMPOS, A.T.; ZACARKIM, C.E.; MELISSA S.; MATSUO, M.S.; CUNHA, F. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.10, n.3, p.745-750, 2006.

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for examination of water and wastewater. 21th ed. Washington: American Water Works Association, p.1386, 2005.

ARRUDA, M. H.; AMARAL, L. De L.;PIRES, O. P. J.; BARUFI, Charles R.V. Dimensionamento de Biodigestor para Geração de Energia Alternativa. Revista científica eletrônica de agronomia, Garças, ano 1, n. 2, 2002.

CAETANO, L. Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás. 1985. 75f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Botucatu, 1985.

CANAFISTULA, F. J. F.; CARVALHO, P. C. M. Avaliação da equivalência energética do biogás de esterco de caprinos. In: Congresso Internacional Sobre Geração Distribuída e Energia do Meio Rural, 7 , Fortaleza, 2008.

COSTA, L.V.C. da.; Biodigestão anaeróbica da cama de frango associada ou não ao biofertilizante obtido com dejetos de suínos: produção de biogás e qualidade do biofertilizante. 2009. 89f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.

ESPERANCINI, M.S.T.; COLEN, F.; BUENO, O. de C.; PIMENTEL, A.E.B.; SIMONE, J. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do estado de São Paulo. *Revista de Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.1, p.110-118, 2007.

INOUE, K.R.A. Produção de Biogás, caracterização e aproveitamento agrícola do biofertilizante, obtido na digestão da manipueira. 2008. 76f Dissertação. (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

KUCZAMAN, O; GOMES, S. D.; TAVARES, M. H. F.; TORRES, D. G. B.; ALCANTRA, M. S. Produção específica de biogás a partir de manipueira em reator de fase única. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.31, n.1, p.143-149, 2011.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Caprinocultura. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 14 out. 2014

MARTINS, E. C.; Caprinocultura no Brasil: algumas estatísticas. Página Rural. Embrapa Caprinos e Ovinos. Ceará. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48470/1/Midia-Caprinocultura-no-Brasil.pdf>> Acesso em: 09 Ago. 2014.

MOGAMII, C. A.; Influência de diferentes dietas nas características dos dejetos de cabras leiteiras com vistas à produção de biogás. 2005. 48f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

OVIEDO, J. E. F. A. Proteção de usuários e edifícios por implantação de drenos para extração de gás de subsolo. 2007. 115f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Educação Continuada em Engenharia Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

QUADROS, D. de, G.; OLIVEIRA, A. de P.M.; REGIS, U.; VALLADARES, R.; SOUZA, P. H. F.; FERREIRA, E. de J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande. v.14, n.3, p.326–332, 2009.

RANZI, T.J.D.; ANDRADE, M.A.N. Estudo de viabilidade de transformação de esterqueiras e bioesterqueiras para dejetos de suínos em biodigestores rurais visando o aproveitamento do biofertilizante e do biogás. In: Encontro De Energia No Meio Rural E Geração Distribuída, 5., 2004, Campinas. *Anais...* Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004.

SANTOS, T.M.B. Caracterização química, microbiológica e potencial de produção de biogás a partir de três tipos de cama, considerando dois ciclos de criação de frango de corte. 1997. 95f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia - Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.

SILVA, C DE O.; SANTOS, A. S.; SANTOS, M. B. Dos.; CEZAR, V. R. Dos S. Biodigestão anaeróbia com substrato formado pela combinação de esterco ovinocaprino, manipueira e biofertilizante. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, Aquidabã, v.4, n.1, 2013.

SILVA, J. R. G.; ROCHA, A.R.; FERREIRA, A. S. A importância de detecção de gases para prevenção de danos à segurança, meio ambiente e saúde: fontes de interferência em sinais 4 a 20 Ma, Rio de Janeiro: Revista Bolsista de valor. Rio de Janeiro, v.1, 2010.

SILVA, C. E. F.; ABUD, A. K. S. Acompanhamento do Tempo de Retenção Hidráulico (TRH) na Biodigestão de Vinhaça e Utilização de seu Biofertilizante em Sementes de Feijão. Revista Scientia Plena. Macéio, v. 10, n.7, 2014.

SOETHE, G. C.; Aproveitamento da massa visceral da tilápia (*Oreochromis Niloticus*) para produção de biogás. 2014. 73f. Dissertação (Mestrado). Universidade estadual do oeste do Paraná. 2014.

XAVIER, C. de A. N.; JUNIOR, J. de L. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. Revista Engenharia Agrícola Jaboticabal, v.30, n.2, p.212-223, 2010.