

DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTOR TUBULAR NO SEMIÁRIDO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA AMBIENTE

Manuel Rangel Borges Neto – manuel.rangel@ifsertao-pe.edu.br
Instituto Federal Sertão Pernambucano, Coordenação de Eletrotécnica.

Paulo Cesar Marques de Carvalho – carvalho@dee.ufc.br

José Sigefredo Pinheiro Neto - neto@tbmtextil.com.br
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

André Pimentel Moreira – apmoreira@ifce.edu.br

Instituto Federal do Ceará, Departamento de Indústria

Luiz Carlos Nascimento Lopes-proflcnl@yahoo.com.br
Instituto Federal Sertão Pernambucano, Coordenação de Eletrotécnica.

Thatyany Sampaio Horta Borges – thatyanys@yahoo.com.br
Instituto Federal Sertão Pernambucano, Coordenação de Lic. em Química.

Resumo. Este artigo descreve um estudo para estabelecimento de uma equação geral que permita o dimensionamento do volume de um biodigestor tipo lona, em regiões semiáridas, alimentado por esterco caprino, porém, que tenha como parâmetro relevante a temperatura média do ambiente. Fez-se o uso de registro de temperaturas em diferentes pontos de um biodigestor em funcionamento em período de um ano durante 24 horas. Concluiu-se que a equação obtida é válida e que o tipo de biodigestor adotado pode ser considerado como uma solução tecnológica adequada para a região por não requerer grandes profundidades na escavação do solo, apresenta flexibilidade na remoção e transporte, fabricação nacional e de elevada estabilidade térmica uma vez constatada que a perda de calor do substrato no período noturno é minimizada pela temperatura do solo e pela camada de biogás.

Palavras-chave: Biomassa, Semiárido, Sustentabilidade, Instrumentação Eletrônica.

1. INTRODUÇÃO

O biogás é o resultado da digestão de matéria orgânica (substrato) por bactérias anaeróbicas em condições controladas de umidade e temperatura. É um processo encontrado em muitos ambientes naturalmente incluindo solos encharcados, pântanos e no intestino dos mamíferos. O biogás pode ser obtido de uma ampla gama de matérias-primas, incluindo águas residuais industriais, urbanas e agrícolas.

A composição do biogás depende da natureza do substrato. Uma vez produzido, o biogás é geralmente composto por 48-65% de metano (CH_4), 36-41% de dióxido de carbono (CO_2), até 17% de nitrogênio (N_2), menos de 1% de oxigênio (O_2), 32-169 ppm de gás sulfídrico (H_2S) e vestígios de outros gases. Tanto o dióxido de carbono como o metano são potentes gases do efeito estufa (GEE) e, estima-se que 18% do aquecimento global seja causado por emissões de metano de origem antropogênica (Ward et al., 2008).

O biogás produzido pela decomposição de matéria orgânica é conhecido desde o século XIX. No entanto, somente a partir da metade do século XX o uso do biogás teve uma expansão notável, sobretudo na China e na Índia, através de reatores chamados digestores ou biodigestores. Estes reatores podem ser classificados, de acordo com o funcionamento do processo, como de batelada ou contínuos (Borges Neto e Carvalho, 2012):

- Batelada: neste tipo de biodigestor o material orgânico a ser digerido é introduzido de uma só vez, o biodigestor é mantido hermeticamente fechado e, após algum tempo, a produção de gás inicia-se e prossegue até consumir todo o material; numa segunda etapa, o material já fermentado é descarregado e o biodigestor é carregado novamente.

- Contínuos: o processo é dito contínuo porque a cada carga diária que entra no biodigestor corresponde uma carga de volume semelhante de material fermentado na saída. A biomassa no interior do biodigestor se movimenta por diferença de carga hidráulica, entre a entrada do substrato e a saída do efluente do processo no momento do carregamento. Uma limitação dos modelos contínuos é a necessidade de triturar os resíduos e diluir a matéria prima, tanto para evitar entupimentos como para impedir a formação de crostas. Em contrapartida, a grande vantagem destes biodigestores, em relação ao de batelada, reside no fato de que, com uma única unidade, é possível o atendimento contínuo de uma demanda de biogás através do tratamento contínuo de pequenas quantidades de rejeitos.

A biodigestão tem a maior aplicação em áreas rurais devido à disponibilidade de matéria orgânica sendo, as fezes de animais, a maior parcela. O biogás produzido pode ser usado como energia principal para cozinhar ou até mesmo como combustível para motores de combustão, capazes de acionar bombas de água ou geradores elétricos.

Outro produto da digestão anaeróbica é o biofertilizante. Este é um fertilizante de primeira ordem que pode ser usado nas fazendas onde é produzido ou mesmo vendido como mercadoria, a fim de receber renda adicional para a

comunidade rural. Além do modelo de biodigestor e do substrato a ser empregado, são fatores limitadores da produção do biogás:

- Disponibilidade de matéria orgânica: Apesar de se tratar de um processo contínuo e haver a possibilidade de armazenamento do gás em gasômetros, faz-se necessário a permanência de uma fonte mínima de esterco.
- Cuidados com manuseio de detergentes, agrotóxicos e antibióticos são fundamentais para não que não haja contato com o substrato de forma a não interferir na atividade das bactérias metanogênicas.
- A temperatura de funcionamento ideal é em torno de 35°C. Variações bruscas de temperatura podem reduzir e mesmo parar a produção de biogás.

Devido aos efeitos da crise do petróleo da década de 1970, o governo brasileiro criou o Projeto de Difusão do Biogás, implementado em 1970 e aplicado a todas as zonas rurais. O objetivo principal era a instalação de 7.000 biodigestores até o ano de 1979. No entanto, em 1983, apenas 3.000 biodigestores haviam sido instalados. Isso se deveu ao apoio financeiro insuficiente e inexperiência dos técnicos brasileiros na produção de biogás e suas aplicações. O final da crise do petróleo, subsídios ao GLP e maior interesse do governo brasileiro pelo programa de extração de etanol a partir da cana-de-açúcar contribuíram para o enfraquecimento e fracasso do programa de biogás (Barrera, 1993).

Na última década, o interesse em digestores ressurgiu especialmente em grandes fazendas de suínos nas regiões Sul e Sudeste. No entanto, o principal objetivo tem sido o tratamento do efluente produzido pelo rebanho. O biogás produzido é parcialmente utilizado para fins energéticos ou simplesmente queimado para evitar a emissão de metano.

O aproveitamento de resíduos orgânicos para a produção de biogás torna-se relativamente fácil no meio rural, sobretudo com a utilização de esterco animal. Uma vez caracterizado, a tendência é a manutenção da qualidade e produção do biogás, bem como a simplicidade do manejo e das instalações.

Apesar de uma elevada quantidade de parâmetros influenciarem na produção de biogás, por conta do processo biológico, é consenso entre os pesquisadores que a temperatura é um dos fatores mais relevantes por consequência o modelo de biodigestor adotado deve assegurar a estabilidade térmica do substrato.

Teixeira (2001) apresenta a Fig. 1, que relaciona a produção de biogás em função do Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) para diferentes temperaturas (linhas sólidas) bem como a sugestão para o período usual de digestão (linha tracejada)

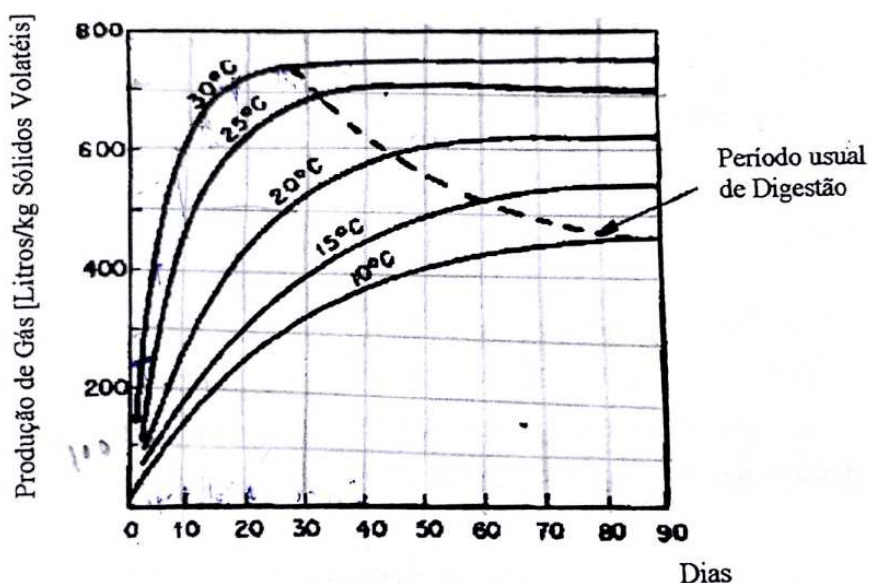


Figura 1-Produção de gás a diferentes temperaturas (Teixeira 2003)

A matéria orgânica é constituída de água e de matéria seca que também é chamada de sólidos totais e compreende duas frações: os sólidos fixos ou cinzas, correspondentes à parte restante após a queima da matéria orgânica, e os sólidos voláteis (fração queimada)

Os sólidos voláteis servem de parâmetro comum às diferentes biomassas e representam a parcela a ser fermentada para produzir biogás. Quanto maior a concentração de sólidos voláteis de uma biomassa, maior será a produção de gás, dentro de certos limites, pois dependerão da eficiência do biodigestor. Recomenda-se um mínimo de 120 g de sólidos voláteis por kg de matéria seca. O teor de sólidos voláteis do dejetos de alguns animais encontra-se na Tab. 1.

TABELA 1-Quantidade de sólidos totais e voláteis nos resíduos animais (Teixeira, 2003)

Animais	Sólidos totais(%)	Sólidos voláteis % dos sólidos totais
Bovinos	20	80
Equinos	22	72
Suínos	18	94
Caprinos	30	60
Humanos	28	93
Aves	30	80

O dimensionamento do biodigestor está associado diretamente, além do tipo da matéria orgânica, à quantidade de biomassa a ser processada diariamente e ao tempo de retenção hidráulica (TRH) conforme relação estabelecida na a Eq. 1:

$$V_{bio} = TRH \cdot V_{cd} \quad (1)$$

Onde V_{bio} é o volume útil do biodigestor, ou o correspondente à fase líquida, em m³, TRH é tempo de retenção hidráulica em dias, e V_{cd} o volume da carga diária em kg (substrato). A Eq. (1) permite a seguinte análise: para um biodigestor já instalado, ou seja, de volume fixo, a quantidade de carga a ser processada torna-se inversamente proporcional à variação do TRH, normalmente adotando-se valores médios empíricos em função da matéria orgânica conforme Tab. 1.

Sob o clima severo do semiárido brasileiro, caprinos têm boa adaptação às condições climáticas encontradas na área. Além disso, para o pequeno produtor rural estes animais de pequeno porte são uma importante fonte de proteínas. Com aproximadamente 8 milhões de cabeças, a região Nordeste detém 84,5% do rebanho caprino do Brasil (IBGE, 2009). E apesar de oferecer condições climáticas favoráveis os biodigestores ainda são pouco utilizados.

Este artigo descreve um estudo para estabelecimento de uma equação geral que permita o dimensionamento do volume de um biodigestor tipo lona, em regiões semiáridas, alimentado por esterco caprino, porém, que tenha como parâmetro relevante a temperatura média do ambiente.

2. MATERIAIS E MÉTODO

Com o objetivo obter uma relação melhor ajustada entre a temperatura e o TRH, a partir da Fig. 1, onde são descritos a produção de biogás em função do TRH, destacou-se a curva do período usual de digestão. Fazendo o uso de pares: temperatura x TRH (marcadores) por intermédio do programa Excel elaborou-se o gráfico da Fig. 2. Cuja linha de tendência (contínua), obtida por regressão, retornou a equação que melhor representa o gráfico.

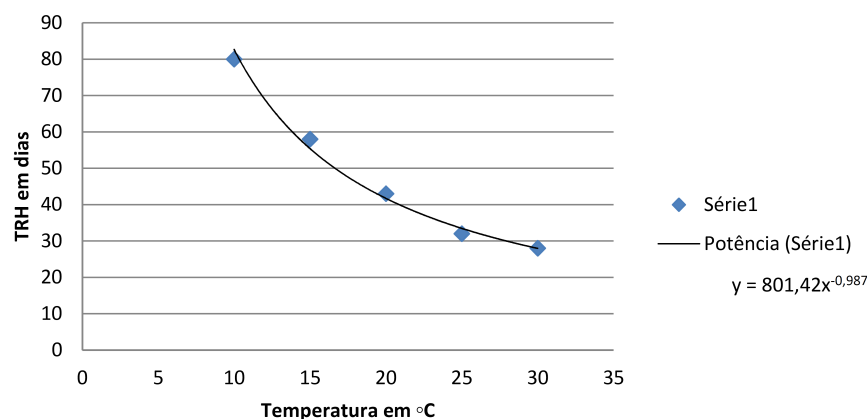


Figura 2. Curva de TRH e a temperatura.

Sendo y associado ao TRH e x à temperatura média (T_m), a partir da Eq. (1) obtém-se o volume útil do biodigestor em função da temperatura (Eq. 2)

$$V_{bio} = 801,42 \cdot T_m^{-0,987} \cdot V_{cd} \quad (2)$$

Como forma de validar a Eq. (2) fora utilizado um biodigestor instalado no Laboratório de Energias Alternativas (LEA) da Universidade Federal do Ceará (UFC) no campus do Pici em Fortaleza-CE (Fig. 3). Trata-se de um biodigestor do tipo tubular, uso contínuo, com 1,40 m de diâmetro e 4,50 m de comprimento, parcialmente enterrado no solo sobre uma manta geotêxtil a uma profundidade de 0,9 m.



Figura 3 - Biodigestor do LEA.

São 8m³ de volume total dos quais 5 m³ para o substrato e 3 m³ para armazenamento de biogás. Segundo o fabricante a capacidade média de processamento desse biodigestor é de: 15 vacas estabuladas ou; 15 suínos em engorda ou, 750 frangos de corte ou; 15 humanos.

Utilizou-se como fonte de matéria orgânica o esterco de caprinos cedido pela empresa Capril Said, localizada no município de Eusébio-CE, distante 42 km das instalações do LEA. Os animais das raças Saanen, Alpina Francesa e Anglo Nubiana são mantidos confinados em aprisco elevado e com o objetivo principal a produção de leite.

O esterco ainda úmido, após transporte e retirada de corpos estranhos, foi misturado à água na proporção 1:4 para o abastecimento do biodigestor. Que por sua vez, fora projetado para utilização em regime contínuo, contudo, devido às dificuldades de obtenção do esterco no próprio campus do Pici, fora utilizado em regime de batelada.

A carga inicial do biodigestor foi de 1.200 kg de esterco e após 25 dias de retenção hidráulica foi verificada a produção de biogás devido à inflação do biodigestor. Como procedimento de segurança executou-se o descarte total das duas primeiras bateladas de biogás com o objetivo de eliminar a presença de O₂ e o risco de combustão acidental do biogás armazenado. Seguiu-se com abastecimentos de 200 kg e 400 kg, à medida que o gás fosse consumido em ensaios e de acordo com a disponibilidade de matéria orgânica pelo fornecedor.

O biogás produzido foi utilizado tanto para experimentos de cocção como para acionamento de um conjunto motor gerador de energia elétrica de 4 kW em ensaios do LEA. Por sua vez, o efluente do biodigestor foi aproveitado como adubo orgânico nas instalações do Núcleo de Pesquisa em Agricultura Urbana (NEPAU) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da UFC.

2.1 Verificação de temperaturas

Com o objetivo de conhecer as relações de troca de calor do biodigestor e fazer a relação com o TRH executou-se medições das temperaturas envolvidas conforme descrição a seguir.

Utilizou-se, o Circuito Integrado (CI) LM35 adaptado para as condições do experimento (Fig. 4). Fabricado pela Texas Instruments é um sensor que opera de forma linear na faixa de -55 a 150 °C, com resposta de 10 mV/ °C e precisão de 0,5 °C.



Figura 4 - Sensor LM35 adaptado para medições de temperatura na planta do LEA.

A medição da temperatura ocorreu em três pontos distintos: ambiente (à sombra aproximadamente a 1 m do solo), dentro do biodigestor (submerso no substrato) e enterrado diretamente no solo a uma profundidade de 70 cm e distância de 30 cm do biodigestor conforme esquema na Fig. 5:

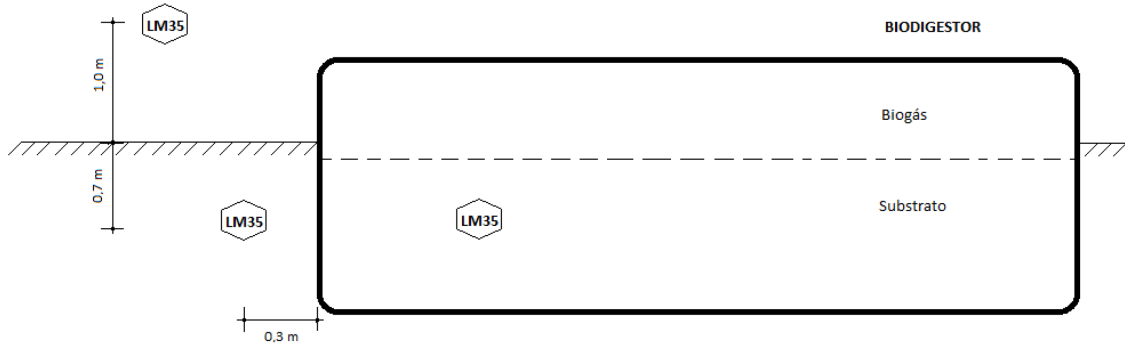


Figura 5 - Disposição dos sensores de temperatura para o biodigestor do LEA.

Os sensores foram conectados diretamente à entradas analógicas de um controlador lógico programável (CLP) Twido XWLCAE40DRF da Schneider/Telemecanique, com 24 entradas digitais, e 16 saídas a relé, com cartão adicional com 4 entradas e 4 saídas analógicas de 0-10V ou 0-20 mA, modo de conexão ethernet. Fez-se o uso sistema de supervisão Eclipse/SCADA que para acompanhamento, em tempo real, dos valores medidos desenvolveu-se uma tela de aquisição de dados (Fig. 6) registrando não somente os referidos pontos, mas outros pontos de temperatura, bem como irradiação solar, nas instalações do LEA.

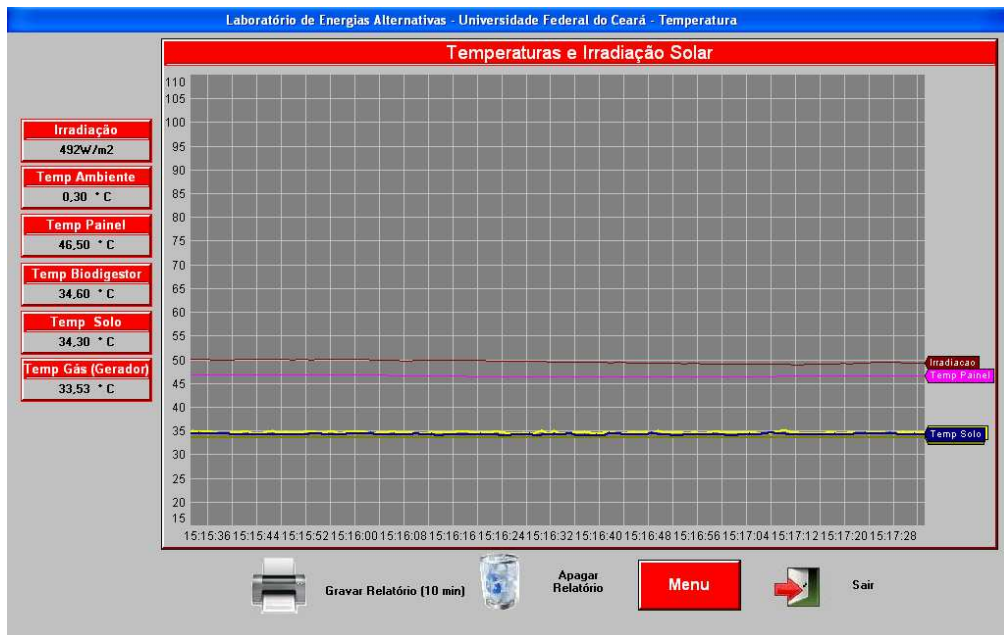


Figura 6 - Tela de temperatura e irradiação solar.

Os dados são coletados em tempo real e suas médias registradas em intervalos de 10 minutos. Foram realizadas diversas seqüências de medição em diferentes épocas do ano, contudo, as características climáticas da região permitem a delimitação de dois períodos bem definidos, período seco e quadra chuvosa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 7 é uma representação gráfica dos registros da temperatura medida nos três pontos em um ciclo de 24h para o dia 16 novembro de 2012 em um dia típico de céu claro. Já a Fig. 8 é a representação gráfica dos mesmos pontos para o dia 16 de fevereiro de 2013 dentro da quadra chuvosa da região com céu parcialmente nublado.

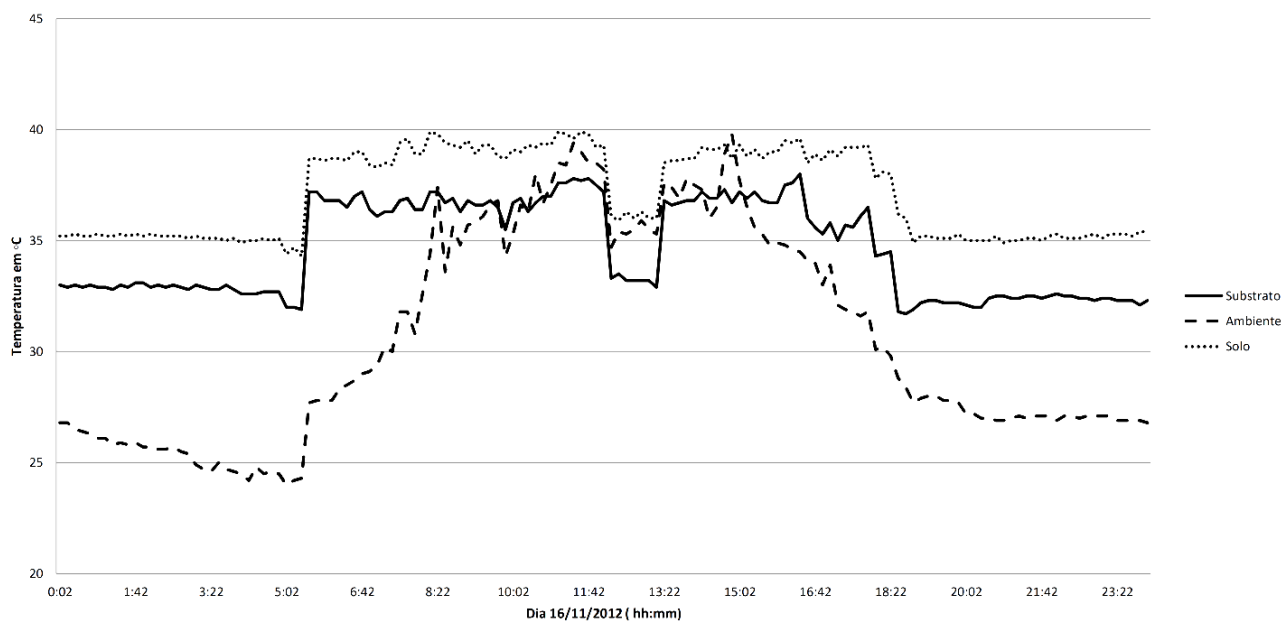


Figura 7 - Registro de temperaturas no biodigestor em dia de céu claro.

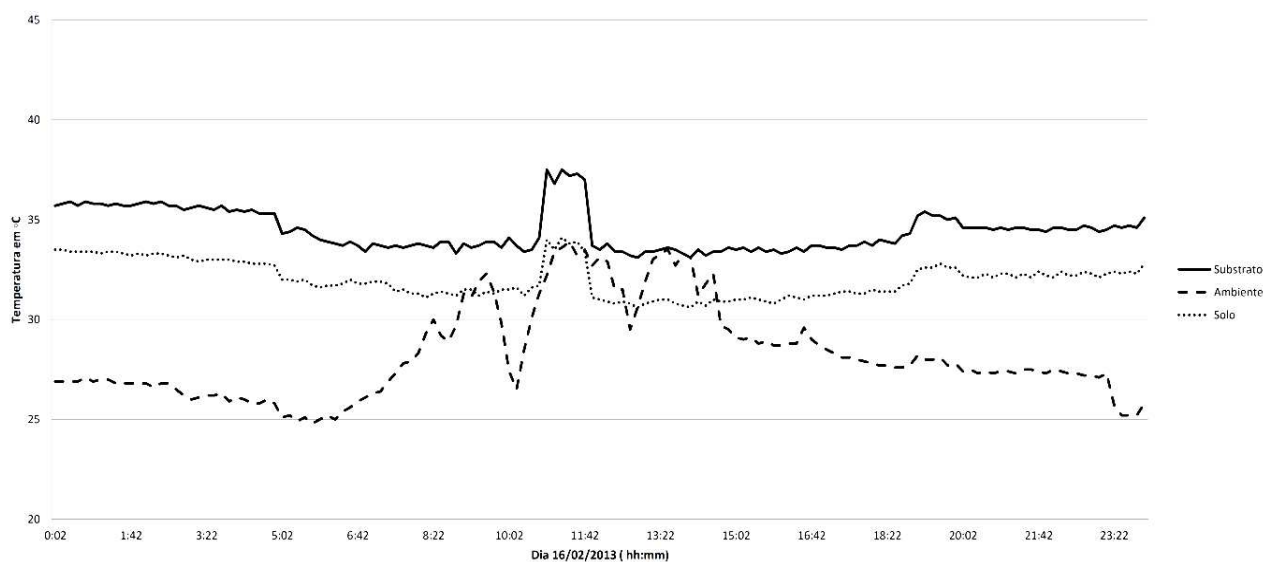


Figura 8 - Registro de temperaturas no biodigestor em dia com céu parcialmente nublado.

Em ambos os períodos ficou constatado a influência direta da temperatura do solo na temperatura interna do biodigestor, visto que as curvas têm formatos semelhantes embora com valores absolutos distintos. Fato explicado pela área do biodigestor que permanece em contato com o solo (60%), cujo volume associado, é preenchido essencialmente pelo substrato. Já a área restante do biodigestor que em princípio estaria mais imediatamente suscetível às variações da temperatura ambiente, à ação do vento e à exposição da radiação solar direta, não sofre esses efeitos devido à baixa densidade e consequente isolamento térmico do biogás que completa esse volume. A Fig. 8 é a representação gráfica da irradiação solar para os dias em análise.

A irradiação solar registrada no dia parcialmente nublado (linha sólida), apesar de apresentar alguns pontos com valores superiores ao do dia com céu claro (linha pontilhada), é inferior e representa 66,5% da intensidade média registrada no dia de céu claro.

Tais registros permitem verificar, para o modelo do biodigestor adotado, que embora receba influência da variação da temperatura ambiente, o solo funciona com um efeito capacitivo na temperatura do substrato impedindo a variação brusca da temperatura do mesmo em função à temperatura ambiente. Ou seja, a temperatura ambiente influencia na temperatura do substrato, contudo, de forma lenta e indireta.

Sendo o solo o principal meio condutor, para o experimento, foram desprezadas as possíveis interferências na taxa de transferência de calor ocasionadas por variações na sua composição, compactação e umidade. Todavia a abordagem facilita o cálculo do rendimento do biodigestor em função da temperatura ambiente uma vez que permite adotarem-se valores médios de temperatura ambiente em períodos semanais, ou mensais, com um erro relativamente baixo.

Aplicando-se a Eq. (2) na planta do LEA para uma temperatura média registrada de 35 °C obteve-se um TRH de 24 dias. Compatível, portanto, com o observado durante a operação do biodigestor que fora de aproximadamente 25 dias.

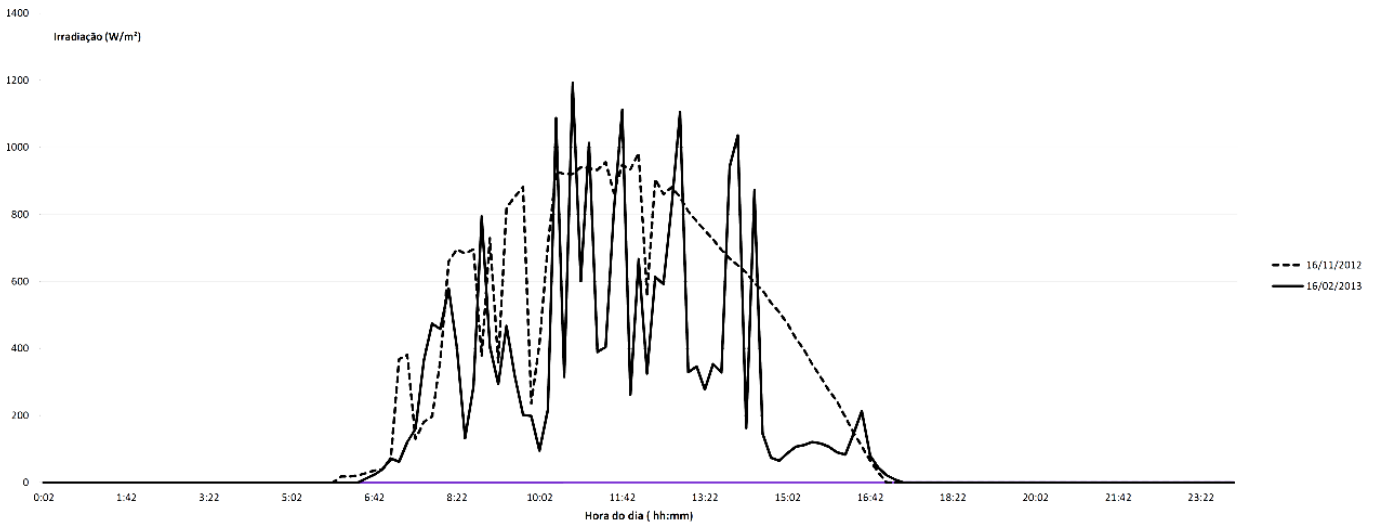


Figura 9 - Comparação entre irradiação solar entre dias de céu limpo e parcialmente nublado.

Admitindo que a Eq. (2) é válida para as condições acima o volume de carga diária possível de ser processada em um biodigestor nas condições do instalado no LEA passa ser a quantidade 42 kg diários- o equivalente ao dejetos produzido por 21 caprinos confinados ou, 63 em criação extensiva com o confinamento apenas no período noturno.

O volume total (V_{tbio}) do biodigestor tubular é composto pela soma do V_{bio} ao Volume do gasômetro (V_g). É usual adotar a proporção 2:3 entre o V_g e o V_{bio} , podendo a mesma chegar a 1:1, a critério do projetista, definindo essa proporção como uma variável K_t , a mesma pode variar de 0,67 a 1 e estabelecendo a Eq. (3).

$$V_{tbio} = 801,42 \cdot T_m^{-0,987} \cdot V_{cd} \cdot K_t^{-1} \quad (3)$$

4. CONCLUSÕES

A utilização de biodigestores na região semiárida brasileira pode tornar-se um importante mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) contribuindo para a produção de energia renovável bem como para a produção de biofertilizante favorecendo a agricultura orgânica e estimulando a cadeia agropecuária, sobretudo para o pequeno produtor rural.

O biodigestor de tubular de lona apresenta-se como uma solução tecnológica adequada para a região por não requerer grandes profundidades na escavação do solo, flexibilidade na remoção e transporte, fabricação nacional e de elevada estabilidade térmica uma vez que a perda de calor do substrato no período noturno é minimizada pela temperatura do solo e pela camada de biogás.

Foi determinada e validada uma equação geral para determinação do volume total de um biodigestor tubular para as condições do semiárido que permite o dimensionamento ótimo para diferentes temperaturas médias.

Agradecimentos

À CAPES pela bolsa de doutorado do primeiro autor, à Recolast Ambiental pela doação do biodigestor e, ao professor Dr. Marcos Esmeraldo pelo apoio no NEPAU.

REFERÊNCIAS

- Barrera, P. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para o meio rural. 1. ed. São Paulo: Ícone, 1993.
- Borges Neto, M.R., Carvalho, P., Geração de Energia Elétrica-Fundamentos. 1. ed. São Paulo: Erica, 2012
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Rebanho Caprino Efetivo. IBGE. [S.l.]. 2009. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br. Acesso em 07/04/2009.
- Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., Jones, D. L. Optimisation of anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology*, v.99, p.7928-7940. 2008.

Teixeira, A. Biogás. Textos Acadêmicos. 1 ed. Lavras: UFLA, 2003.

SIZING OF A PLUG-FLOW DIGESTER TO SEMI-ARID IN FUNCTION OF ENVIRONMENTAL TEMPERATURE

Abstract. *This paper describes a study to establish a general equation that allows the design of a plug-flow digester volume in semi-arid regions, fueled by goat manure, however, which has as a relevant parameter the average temperature of the environment. There was the use of recorded temperatures on different points of a digester in operation during a period of one year for 24 hours it was concluded that the equation obtained is valid and the type of digester adopted can be considered as a suitable technological solution for the region, not requiring a too deep dig in soil, presents easy removal and flexibility in transport, national manufacture and high thermal stability as evidenced that the heat loss from the substrate during the night is minimized by the soil temperature and biogas layer.*

Key words: Biomass, Semiarid, Sustainability, Electronic Instrumentation.