

EFICÁCIA DO RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO URBANO NA GERAÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE COM O USO DO BIODIGESTOR INDIANO¹

THE EFFECTIVENESS OF MUNICIPAL SOLID WASTE FOR THE PRODUCTION OF BIOFERTILIZER AND BIOGAS USING THE INDIAN BIODIGESTER

Fabiane Granzotto² e Minéia Johann Scherer³

RESUMO

O aumento populacional urbano reflete diretamente na quantidade de resíduos gerados. Os resíduos sólidos orgânicos urbanos são um exemplo claro e preocupam, uma vez que atingem diretamente a saúde das pessoas. Neste sentido, o objetivo do trabalho foi verificar a eficácia do lixo orgânico residencial urbano na transformação de biogás e biofertilizante. Fez-se uso de um biodigestor tipo indiano e a pesquisa ocorreu no período de um ano. Os parâmetros acompanhados foram: temperatura; precipitação; insolação; quantidade da mistura utilizada e produtos gerados; número mais provável de coliformes; nitrogênio, fósforo e potássio total e o pH. A produção média de biogás e biofertilizante foi melhor no outono. O pH foi melhor na estação do outono e do verão. Não houve reagente para o número mais provável de coliformes e o número total nitrogênio, fósforo e potássio mantiveram os parâmetros esperados. Tais resultados são indicativos de boa qualidade do biofertilizante. O estudo mostrou que é possível, além de tratar o material utilizado, produzir biogás e biofertilizante com o uso do biodigestor tipo indiano.

Palavras-chave: biodigestão anaeróbia; gestão ambiental; produção mais limpa; resíduo orgânico.

ABSTRACT

Urban population growth directly reflects the amount of waste produced. Municipal solid waste is a clear example of it, as well as a concern, because it affects the health of individuals. Therefore, the objective of this study was to assess the efficacy of municipal solid waste in biogas and bio-fertilizer production. With this in mind, an Indian-type digester was used and research was carried out during one year. The parameters were monitored in terms of temperature, precipitation, sunshine, amount of mixture used and generated products, the most probable number of coliforms, total nitrogen, phosphorus and potassium, and pH value. The average biogas and bio-fertilizer production was better in the fall. The pH value was better during the fall and summer months. There was no reagent for the most probable number of coliforms. In addition, the total number of nitrogen, phosphorus and potassium obtained was within the expected amount. These findings point to a good quality bio-fertilizer. In summary, the study showed that, besides treating the material used, it is also possible to produce biogas and bio-fertilizer by using the Indian-type digester.

Keywords: anaerobic digestion; environmental management; cleaner production; organic waste.

¹ Monografia.

² Aluna do curso de Especialização em Gestão Ambiental - Centro Universitário Franciscano. E-mail: fabianegrantzotto@yahoo.com.br

³ Orientadora - Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul. E-mail: mineiaarq@gmail.com

INTRODUÇÃO

O aumento populacional tem levado ao crescimento das cidades. Por decorrência disso, o consumo por alimentos também é crescente, e uma das consequências frente a isso está localizada na grande quantidade produzida de resíduos sólidos orgânicos urbanos e que tem gerado preocupações quanto à forma mais adequada de destino. Além disso, a maior parte das residências possui pátio com jardim e/ou horta, o que agrega um percentual de material orgânico que também precisa ser destinado corretamente. Conforme Lucas Júnior, Souza e Lopes (2009) é preciso modernizar os sistemas de produção para atender a demanda e fazer uso das fontes alternativas de energia existentes. Sendo assim, deparou-se com a seguinte problemática: como tratar o resíduo doméstico orgânico urbano de forma mais correta e qual a eficácia desse material na geração de biogás e biofertilizante? Diante disso foi instalado um biodigestor do tipo indiano para a decomposição anaeróbica da biomassa e transformação do material em biogás e biofertilizante. Um dos motivos pela opção do biodigestor tipo indiano surge em função de que seu reservatório (gasômetro) é móvel e, em função disso, a pressão pode ser mantida constante dentro do seu interior. A pressão constante faz com que o sistema funcione continuamente não interrompendo o fluxo de gás.

O material orgânico para a transformação de biogás e biofertilizante utilizado foi tanto das sobras domésticas (restos de alimento e cascas de frutas), quanto referentes aos componentes orgânicos presentes no pátio das residências (material proveniente da horta, flores ou corte de grama). Os produtos gerados na aplicação desta tecnologia são dois: o biogás, composto de gases, e o biofertilizante, parte líquida, rica em nutrientes podendo ser usada no cultivo de plantas. Desta forma, o uso do biodigestor indiano pode trazer benefícios ao meio ambiente reduzindo a proliferação de doenças, ao bem-estar da cidade, evitando acúmulo de resíduos nas ruas e econômico reduzindo os custos domésticos. Assim, o processo de biodigestão anaeróbia, dos materiais orgânicos residenciais urbanos, vem como uma alternativa para o tratamento desses materiais, pois reduz o potencial de poluição, produz biogás e permite o uso do efluente como biofertilizante.

Com isso, neste trabalho o objetivo foi verificar a eficácia do resíduo orgânico urbano na transformação de biogás e biofertilizante.

REVISÃO DE LITERATURA

A preocupação com a conservação do meio ambiente tem direcionado o mundo todo para a busca de fontes alternativas de uso da energia. Conforme Neves (2010), a energia sempre foi reconhecida como a base do desenvolvimento das civilizações e ganhou força com a Revolução Industrial no final do século XIX. Em função da crise do petróleo nos países produtores, pela grande fragilidade do sistema das hidrelétricas que tem ocasionado os apagões no Brasil e pela inviabilidade e perigo da

construção de termoeletricas e usinas nucleares, as energias renováveis vêm conquistando espaço nos últimos tempos, como argumenta Silva et al. (2009).

De acordo com Souza et al. (2004), o Brasil já apresenta tradição no uso de fontes alternativas de energia, sobre as quais destacam-se as usinas hidrelétricas, que são responsáveis por aproximadamente 80% do abastecimento elétrico do país, seguido pelo etanol, um derivado da cana de açúcar que pode ser usado de forma pura ou misturada à gasolina. Segundo Barrera (1993), as principais fontes com potencial energético não poluidoras são provenientes dos ventos, das águas, das marés e, a mais abundante delas, do sol.

De acordo com os dados da ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2013), a geração total de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), no Brasil em 2013 foi de 76,4 milhões de toneladas, sendo que destas, 20 mil toneladas não são coletadas e, conseqüentemente, são destinadas inadequadamente. Deste total de RSU coletados no país, 58,3 % são destinados para aterros sanitários e o restante, 41,7 % que correspondem a 79 mil toneladas diárias, são encaminhadas para lixões ou aterros controlados. Nesta mesma fonte pode-se verificar que em todas as regiões do país houve crescimento na produção de RSU, sendo que a região sul é a que menos gera ($0,761 \text{ kg.hab}^{-1}\text{d}^{-1}$), enquanto que a região sudeste é a que mais gera ($1,209 \text{ kg.hab}^{-1}\text{d}^{-1}$). A composição média de RSU, tabela 1, coletados no Brasil permite visualizar, de modo geral, a participação de diferentes materiais na fração total dos RSU.

Tabela 1 - Participação dos principais materiais no total de resíduo sólido urbanos (RSU) coletados no Brasil em 2012.

Material	Participação (%)	Quantidade (t/ano)
Metal	2,9	1.640.294
Papel, papelão e tetrapak	13,1	7.409.603
Plástico	13,5	7.635.851
Vidro	2,4	1.357.484
Matéria orgânica	51,4	29.072.794
Outros	16,7	9.445.830
Total	100	56.561.856

Fonte: ABRELPE (2012).

O material orgânico é aquele material que têm a propriedade de se decompor por efeito biológico. Qualquer tipo de material orgânico, na presença de bactérias e arqueas metanogênicas, tem a capacidade de gerar biogás. A temperatura, o pH, a relação carbono/nitrogênio (C/N) e a qualidade de cada material é que irão definir a quantidade de biogás a ser produzido. Os restos culturais (palhas, folhas e galhos) podem gerar 7 % mais biogás que dejetos de animais, porém apresentam algumas desvantagens como dificuldade de se misturarem a água e necessidade de maior tempo de fermentação. Todo o processo de geração de biogás e biofertilizante envolve três etapas: na primeira, a bio-

massa ainda no estado sólido sofre ação de bactérias fermentativas que transformam a biomassa em enzimas celulose, maltose, amilase, protease, esterase e urase, entre outras; na segunda, etapa líquida, ocorre o ataque de bactérias acetogênicas e acidogênicas, formando ácidos graxos e, na última etapa, chamada fase gasosa e que é a mais importante, ocorre a ação de bactérias e arqueas metanogênicas que ao atuarem sobre os ácidos orgânicos produzem metano e gás carbônio (SGANZERLA, 1983).

As arqueas que produzem o metano sobrevivem em uma faixa estreita de pH (6,5 a 8,0), enquanto que as bactérias produtoras de ácido (estágio 1 e 2 da digestão anaeróbia), produzem esses ácidos, sendo que nesses estágios as reações são muito mais rápidas que a produção de metano. Por isso, ao iniciar a produção de biogás, é necessário que uma população bactérias e de arqueas metanogênicas já esteja presente para que o processo seja bem sucedido (ANDREOLI; FERREIRA; CHERNICHARO, 2003).

O Brasil apresenta uma vasta fonte de biomassa e, conforme Amaral et al. (2004), a fermentação dessa biomassa apresenta uma excelente alternativa, pois além de reduzir a taxa da poluição e contaminação do ambiente durante o processo de decomposição, promove a geração do biogás, podendo ser utilizado como fonte de energia térmica, mecânica e elétrica, permitindo ainda a utilização do resíduo final como biofertilizante. Este mesmo autor salienta que o uso de fontes alternativas de energia, como a tecnologia do biodigestor, permite que a matéria orgânica gerada tenha um destino adequado, diminuindo os odores desagradáveis, a emissão tanto de dióxido de carbono (CO_2) quanto de gás metano (CH_4) na atmosfera através da queima.

O modelo de biodigestor tipo indiano caracteriza-se por possuir uma campânula móvel como gasômetro, a qual está mergulhada sobre a biomassa em fermentação e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras, acarretando na movimentação do resíduo por todo o biodigestor. Possui pressão interna constante, pois quando o biogás é produzido e não é consumido a campânula expande-se, aumentando o volume destinado para o armazenamento do biogás, garantindo que a pressão não se altere (DEGANUTTI et al., 2002).

De acordo com Lucas Júnior, Souza e Lopes (2009), o modelo de biodigestor indiano apresenta os seguintes componentes podendo ser visualizados na figura 1:

- a) **Caixa de carga:** local onde é colocada a mistura (material orgânico e água);
- b) **Duto carga:** serve para conduzir o material, por gravidade, da carga de descarga até o biodigestor;
- c) **Câmara de biodigestão cilíndrica:** local onde ocorre a fermentação da mistura e a consequente liberação do biogás;
- d) **Gasômetro:** elemento responsável por armazenar o biogás produzido, permitindo o seu funcionamento com pressão constante. Essa pressão constante é possível de ser obtida porque o gasômetro movimenta-se para cima ou para baixo de acordo com o volume de biogás acumulado ou retirado;

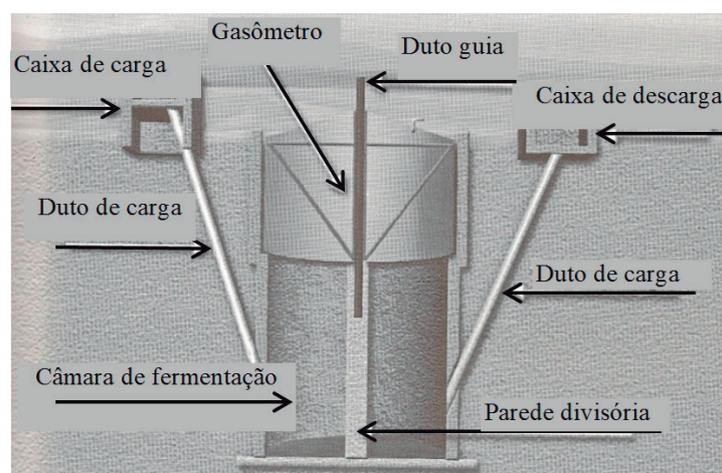
e) **Duto guia**: sua função é guiar o gasômetro, quando esse fizer o movimento para cima ou para baixo;

f) **Duto de descarga**: serve para fazer a retirada do material fermentado (sólidos e líquidos) de dentro do biodigestor;

g) **Caixa ou canaleta de descarga**: local que armazena temporariamente o biofertilizante;

h) **Saída de biogás**: dispositivo que deverá existir na parte superior do gasômetro, pelo qual o biogás sairá do seu interior e será conduzido até o ponto de consumo.

Figura 1 - Biodigestor indiano.



Fonte: Lucas Júnior, Souza e Lopes (2009).

Os aparelhos biodigestores não produzem biogás, mas propiciam as condições para que um grupo de micro-organismos degrade o material orgânico e, conseqüentemente, liberem o gás metano. Assim, como produto da ação digestiva das bactérias e arqueas metanogênicas, o biogás é composto, principalmente, por gás carbônico (CO_2) e metano (CH_4), embora apresente traços de nitrogênio (N), hidrogênio (H) e gás sulfídrico (H_2S). Esses elementos são formados através da decomposição da matéria orgânica em condições anaeróbicas. O metano, principal componente do biogás, é um gás incolor, inodoro, altamente combustível. Essa combustão apresenta uma chama azul-lilás e, às vezes, com pequenas manchas vermelhas. Sua chama não produz fuligem e seu índice de poluição atmosférico é inferior ao do butano, presente no gás de cozinha (GASPAR, 2003).

O CH_4 representa 60 % a 70 % da mistura: não tem cheiro, é incolor e o seu poder calorífico situa-se na faixa de 5.000 a 6.000 kcal.m^{-3} , enquanto o CO_2 apresenta 30 % a 40 % da mistura, e os demais gases somam 5 %. A qualidade do biogás depende da porcentagem de CH_4 na mistura, ou seja, quanto maior sua porcentagem em relação ao CO_2 de melhor qualidade será o biogás. O metano, durante a queima, não produz fuligem, porém o H_2S apresenta cheiro característico (ovo podre) o que pode auxiliar caso ocorram vazamentos no sistema. A composição de gases no biogás pode ser

influenciada pelo tipo de biomassa utilizada. Quando se utiliza, por exemplo, material orgânico de origem animal tem-se uma presença maior de gás sulfídrico quando comparada a biomassa de origem vegetal (COMASTRI FILHO, 1981).

Arruda et al. (2002), considera que a produção do biogás, a partir da biomassa, começa a se processar por volta de 20 dias, aumentando até chegar ao máximo nas próximas semanas e, após isso, sofrer uma diminuição durante o período de fermentação.

Conforme observado por Gaspar (2003), após a produção do biogás, a biomassa fermentada deixa no interior do biodigestor sob a forma líquida, rica em material orgânico (húmus), o biofertilizante. Este, ao ser aplicado no solo melhora as qualidades estruturais e texturais do solo. Além disso, Comastri Filho (1981) diz que o biofertilizante é importante para estruturação e fixação do nitrogênio atmosférico tornando-se mais fácil de ser absorvido pelas plantas. Sganzerla (1983), adiciona a este resíduo a função de que, quando desidratado, serve de volumoso na composição de rações para alimentar peixes.

Dotto e Wolff (2012), salientam alguns cuidados na operação do biodigestor durante o processo de biodigestão com relação ao tipo de biomassa utilizada e quando o equipamento não possui um misturador pode ocorrer a formação de uma camada espessa na superfície da mistura e prejudicar a produção de metano. Seixas, Folle e Marchetti (1981) chamam a atenção para o fato de que as substâncias fibrosas como palha e grama, podem formar uma camada flutuante dentro do biodigestor e parar a produção de gás. Esses autores indicam que o material seja triturado em pedaços menores que 3 cm.

MATERIAL E MÉTODOS

Para melhor organização e compreensão, a metodologia da pesquisa foi dividida em três etapas. Desta forma, a primeira consiste no local e tipo de pesquisa realizada; a segunda aborda o dimensionamento, instalação e funcionamento do biodigestor e a terceira trata dos procedimentos de coleta e análise dos dados.

LOCAL E TIPO DE PESQUISA

A pesquisa foi realizada no município de Nova Palma, Rio Grande do Sul, distante 300 km da Capital Porto Alegre. Acompanhou-se durante um ano, nas quatro estações do ano, a produção de biogás e biofertilizante. A pesquisa de campo consistiu num estudo transversal com pesquisa qualitativa e quantitativa de carácter descritivo.

DIMENSIONAMENTO, INSTALAÇÃO E FUNCIONAMENTO DO BIODIGESTOR

A pesquisa foi realizada no período de setembro de 2012 a outubro de 2013. A divisão de dias de cada estação do ano foi baseada no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período.

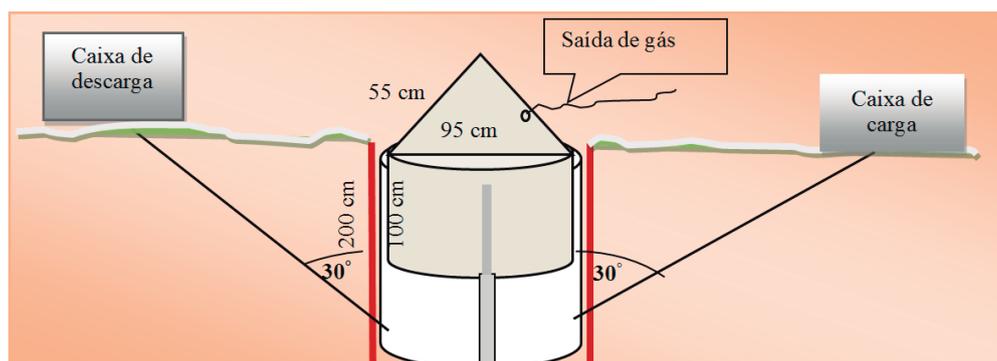
A primeira etapa prática do trabalho foi a construção do biodigestor. Nesse momento, alguns aspectos precisaram ser considerados, tais como: tipo de biodigestor mais adequado para a proposta de estudo, condições do tempo e clima do local, quantidade de material orgânico gerado e a finalidade dos produtos gerados pelo biodigestor. Por isso, considerou-se que, conforme na literatura, em regiões frias, caso do inverno gaúcho, a indicação é para a construção do equipamento em alvenaria com o biodigestor enterrado. Essas condições ajudam a manter a temperatura dentro do equipamento para que os micro-organismos consigam realizar suas funções.

De acordo com Barrera (1993), a temperatura em que ocorre a maior produção de biogás é entre 30 °C e 45 °C. O tempo de biodigestão está diretamente relacionado à temperatura, ou seja, quanto mais elevada a temperatura, mais curto será o ciclo. O material orgânico utilizado foi proveniente de domicílios urbanos como: cascas de frutas, restos de comida, material vegetal provindo de corte de grama, flores e hortas. Devido ao fato de que a residência produz uma média de 2 kg diários de material, foi necessário envolver a vizinhança agregando a Gestão Ambiental no trabalho. Então, o biodigestor mais adequado diante das condições levantadas foi o modelo biodigestor tipo indiano.

O tamanho (dimensões) do biodigestor é definido, conforme Turdera e Yura (2006), em função do produto (resíduos orgânicos), em suas necessidades de produção de biogás e na quantidade de biomassa disponível.

O dimensionamento do biodigestor foi feito simulando o uso para o chuveiro elétrico, devido ao fato de ser um dos aparelhos domésticos de maior consumo residencial. Para isso, utilizou-se os dados de Lucas Júnior, Souza e Lopes (2009), com adaptações, considerando o banho diário para três pessoas. As dimensões do equipamento podem ser visualizadas na figura 2. O volume útil do biodigestor era de 0,59 m³ e capacidade de armazenamento de biogás de 0,77 m³. Para as condições avaliadas a necessidade diária de matéria orgânica foi de 25 kg.

Figura 2 - Esquema do biodigestor indiano com suas respectivas dimensões



O primeiro abastecimento do biodigestor foi feito com dejetos bovinos (224 kg) doados por um agricultor e material orgânico oriundo de domicílios urbanos (kg), doado pelos vizinhos. Os dejetos bovinos foram colocados em maior quantidade com o propósito de incorporar bactérias e arqueas metanogênicas, necessárias no início da produção de gás. A proporção de água foi de 1:3, ou seja, cada quilograma de material orgânico colocou-se três litros de água, em função da alta densidade do material. Assim, na primeira recarga foram colocados 276 kg de material orgânico e 828 L de água. Nos abastecimentos posteriores, foi adicionado apenas material de resíduo orgânico urbano de origem domiciliar (restos de comida e cascas de frutas), resíduos disponíveis no pátio e horta (restos de folhas, flores, restos de hortaliças e grama provenientes da limpeza e manutenção do pátio) e água na proporção 1:1, conforme recomendado na literatura. Ainda é importante ressaltar que toda água adicionada na mistura foi coletada da chuva, pois deve ser livre de sabões e cloro, que podem ocasionar na perda de micro-organismos e prejudicar a produção de biogás. A composição do material orgânico utilizado e a água da chuva são visualizados na figura 3.

Figura 3 - Diversidade de matéria orgânica utilizada



COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Diariamente, media-se a altura de movimentação do gasômetro. Em seguida, efetuava-se a queima do biogás cronometrando o tempo. Para a queima do biogás foi utilizado uma mangueira com $\varnothing 5/16''$ e 12 m de comprimento conectada a um fogareiro. O registro, na saída do gás do gasômetro, era mantido totalmente aberto durante o procedimento, sendo que a queima ocorria ao final da tarde de cada dia, conforme figura 4. O volume médio de biogás produzido foi determinado através do cálculo do volume do cone do gasômetro ($0,0654 \text{ m}^3$) adicionado ao volume do cilindro do gasômetro utilizando a altura de movimentação diária da campânula.

Figura 4 - (A) Biodigestor; (B) Gasômetro cheio de biogás; (C) Saída do biofertilizante; (D) Registro de saída do biogás do gasômetro e (E e F) Demonstração da queima do biogás direto na mangueira.



O biofertilizante foi retirado semanalmente e sua quantidade era medida em litros. Para avaliar as qualidades básicas desse adubo orgânico, realizou-se a leitura quinzenal do pH utilizando o aparelho automático da marca e modelo Denver Instrument pH meter UP - 25 calibrado em solução tampão (+/- 0,05/25 °C) com pH 7,0 e o peagâmetro de bancada digital modelo PM 608. No final do estudo foi feita uma leitura para determinar o número mais provável de coliformes (NMP) através da técnica de tubos múltiplos conforme Macedo (2003). Também foram determinados o nitrogênio total (N), o fósforo total (P) e o potássio total (K) de acordo com Tedesco et al. (1995). O N total foi obtido através da determinação de NH_4^+ e $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$. O K total através da técnica para determinar o sódio e o potássio com o fotômetro de chama e o P total foi obtido com o espectrofotômetro digital.

Os dados climáticos foram adquiridos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2012 e 2013), estação do município de Santa Maria (83936), latitude - 29.7°, longitude -53.7° e altitude 95.00 m. Sendo que foram acompanhadas: a temperatura média compensada (°C), a insolação (h) e a precipitação (mm) para cada dia de observação do funcionamento do biodigestor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de gás pode ser percebida 20 dias após a primeira carga de biomassa no biodigestor. No entanto, a queima contínua do biogás só ocorreu após quarenta dias do início de sua

produção. Foram realizadas três tentativas de queima, com intervalo de quinze dias cada. Oliveira (1994), adverte que nas primeiras semanas a quantidade de gás carbônico é bem superior à do metano e que, aos poucos, tal desproporção acaba desaparecendo. Provavelmente isso tenha ocorrido no início da produção do biogás e, talvez, em função dessa maior produção de gás carbônico, a queima continua tenha demorado mais tempo para ocorrer.

A retirada de biofertilizante começou a ser feita dois meses após o início da queima contínua do biogás (o processo de saída do biofertilizante ocorreu naturalmente conforme a degradação do material orgânico e capacidade do biodigestor). Na sequência, o biofertilizante foi retirado semanalmente e de acordo com sua produção.

ESTAÇÕES DO ANO

Os trabalhos de instalação e abastecimento do biodigestor, assim como o início da produção de biogás ocorreram na estação do ano que corresponde à primavera. Fazendo um comparativo entre as quatro estações do ano avaliadas, os principais resultados podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2 - Número de dias avaliados e médias diárias para cada estação do ano.

Estações do ano	Dias	Biomassa (kg.L ⁻¹)	Altura gasômetro (cm)	Queima (min.)	Biogás (L)	Fertilizante (L)
Primavera	84	5	12	36	18	39
Verão	89	7	29	169	27	40
Outono	93	8	25	90	24	31
Inverno	93	6	14	34	16	49

Observa-se que a estação do ano que corresponde ao outono foi a que apresentou maior equilíbrio na produção de biogás e biofertilizante. Embora a produção de biogás tenha sido maior no verão e a produção de biofertilizante no inverno. A quantidade de material orgânico dependia da doação de pessoas e, por isso, não foi igual para todas as estações do ano. É preciso considerar ainda que a geração de resíduo varia a cada dia. Além disso, a quantidade de dias para cada estação também não era a mesma. Porém, acredita-se que a quantidade de material orgânico não foi um fator interferente na biodigestão anaeróbia. No entanto, a variabilidade do material, junto aos outros fatores analisados na pesquisa pode, sim, ter influenciado na geração de biogás e biofertilizante.

Amorim, Lucas Junior e Resende (2004) estudaram a produção de biogás a partir de dejetos de caprinos com um biodigestor modelo batelada nas diferentes estações do ano e observaram influência dos tempos climáticos. Nesse estudo, os autores, verificaram que a produção de biogás era antecipada ou retardada no início da produção de biogás. Esse mesmo estudo obteve os melhores resultados de produção para as estações do verão e do outono e os piores para a estação do inverno e da primavera.

A maior média diária de temperatura foi como já podia se esperar, no verão (23,28 °C), seguida da primavera (21,62 °C), do outono (16,78 °C) e do inverno (14,28 °C). A temperatura foi um fator bastante significativo, se não o mais significativo, devido às condições naturais em que o trabalho foi conduzido. Ainda, considerando que as colônias de micro-organismos trabalham em faixas específicas, tanto para degradar a matéria orgânica quanto para produzir, principalmente, metano e, por isso, a preocupação concentra-se na estação do ano inverno. Realmente foi bastante visível a queda de produção de biogás nessa estação. Outra preocupação está relacionada ao tipo de material usado de origem vegetal, em função da sua heterogeneidade e por não ser uma fonte de abastecimento contínua de micro-organismos que pudessem auxiliar no processo da biodigestão anaeróbia.

A insolação também é um fator que precisa ser avaliado pelo fato do trabalho ter sido conduzido a campo. As médias diárias para a primavera (8,16 h) e verão (8,47 h) foram semelhantes e maiores que no outono (6,88 h) e no inverno (6,94 h). Já a média diária da precipitação foi maior no verão (17,49 mm), seguida da primavera (11,93 mm), do outono (11,32 mm) e do inverno (10,85 mm).

O pH do biofertilizante avaliado quinzenalmente ajuda, além de, avaliar as condições de acidez do efluente, a compreender o processo de degradação do material orgânico. O verão foi a estação que apresentou melhor equilíbrio de pH, variando de 7,03 a 7,30, seguida do outono que variou de 6,24 a 7,54. No entanto, na primavera e no inverno foi verificada uma acidez no efluente. O pH na primavera variou de 5,00 a 5,60 e pode ser justificado pelo fato de ter sido a estação em que se deu início ao processo de funcionamento do biodigestor. No início da biodigestão, além de um alto teor de matéria orgânica, predomina na população bacteriana as formadoras de ácidos, que fracionam a matéria orgânica e produzem os ácidos voláteis, resultando num aumento da acidez do meio e na redução do pH. Com o passar do tempo bactérias e arqueas metanogênicas começam a agir transformando esses ácidos em metano, neutralizando o meio e elevando o pH (NOGUEIRA, 1986). Isso explica o que ocorreu no início da produção de biogás e biofertilizante.

Durante o inverno houve uma queda no pH em que variou de 5,8 a 5,3. Essa queda já pode ser verificada na estação do outono que apresentou pH de 6,2 na virada da estação. Alguns fatores podem justificar essa queda do pH, sendo que um deles, é relacionado às baixas temperaturas apresentadas durante o inverno. Outro fator pode ter sido o tipo de material em maior abundância nesta estação que foram os cítricos e, também, o fato de que não foram triturados. Foi retirado o gasômetro e foi verificado que os cítricos colocados sem trituração formaram uma crosta na parte superior da biomassa, além de apresentarem um tempo de degradação muito lento.

Foi retirado o gasômetro uma vez, em cada estação do ano, para observar o comportamento da biomassa. Em nenhuma das verificações foram observados danos à chapa galvanizada da campânula do biodigestor por ação, por exemplo, do gás sulfídrico presente no biogás. As observações em relação ao tipo do material utilizado foram importantes, pois mostraram que tanto os cítricos quanto a grama colocados em grande quantidade e sem trituração, podem formar uma camada espessa sobre a

biomassa. Dotto e Wolff (2012) fizeram o mesmo procedimento de abertura da campânula do biodigestor estudado e verificaram na superfície da biomassa a formação de uma crosta e uma sedimentação de sólidos no fundo do reator. Também observaram que as paredes internas resistiram bem, sem apresentarem corrosão ou qualquer tipo de desgaste.

É importante salientar que durante o outono e verão obteve-se um maior equilíbrio de produção (biogás e biofertilizante), além do pH. Esses resultados podem ter sido influenciados pelo fato de que nestas estações o funcionamento do biodigestor estava em maior equilíbrio. Não ocorreram mudanças bruscas de temperaturas nestes períodos e o material orgânico disponível era bastante semelhante.

A determinação do número mais provável de coliformes pelo método dos tubos múltiplos não apresentou reagentes. Repetiu-se o teste três vezes, apenas com o efluente gerado no final do estudo e verificou-se que o biodigestor indiano tem sido eficiente em relação a estes patógenos. Quanto aos minerais totais observados o nitrogênio apresentou 14801,50 mg.L⁻¹, o potássio 250 mg.L⁻¹ e o fósforo 3214 mg.L⁻¹. No caso do fósforo sugere-se que sejam feitas mais diluições da amostra para melhor estimar seu valor. No geral, a quantidade de macronutrientes do efluente apresentou boa carga desses minerais essenciais às plantas e, portanto, pode ser um potencial de adubação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante este estudo foi verificado que as diferentes estações do ano influenciam na produção de biogás e biofertilizante. Mesmo que o material orgânico residencial urbano tenha apresentado grande heterogeneidade de material com diferentes tempos de degradação, manteve-se eficiente na produção de biogás e biofertilizante.

O processo de biodigestão anaeróbia com o uso do biodigestor indiano e material orgânico de origem domiciliar urbano mostrou-se eficiente na remoção de coliformes. A quantidade total de NPK indica que o biofertilizante apresenta boa condição para adubação.

O uso do biodigestor indiano pode ser utilizado no espaço urbano, desde que a residência disponha de espaço físico. A utilização do equipamento é diária e, portanto, exige manutenções constantes. Alguns minutos por dia são suficientes para fazer o abastecimento com o material orgânico. Acredita-se que a curto e longo prazo os ganhos ambientais e sociais possam ser muitos.

REFERÊNCIAS

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/x0sIsE>>. Acesso em: 25 jun. 2013.

. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/0feRb4>>. Acesso em: 06 ago. 2014.

AMARAL, C. C. et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1897-1902, 2004. Disponível em: <<https://goo.gl/BqJwID>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

AMORIM, A. C.; LUCAS JUNIOR, J.; RESENDE, K. T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 16-24, 2004. Disponível em: <<https://goo.gl/xgLoeq>>. Acesso em: 04 out. 2013.

ANDREOLI, C. V.; FERREIRA, A. C.; CHERNICHARO, C. A. **Secagem e Higienização de Lodos com Aproveitamento do Biogás**. Rio de Janeiro: ABES, Cap. 5, 2003. p. 121-165.

ARRUDA, M. H. et al. Dimensionamento de biodigestor para geração de energia alternativa. **Revista Científica de Agronomia da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal**, Garça, v. 1, n. 2, 8 p. 2002. Disponível em: <<https://goo.gl/xqUkmC>>. Acesso em: 04 jun. 2012.

BARRERA, P. Por que o biodigestor: história e importância. In: BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. São Paulo: Icone, Cap. 1, 1993. p. 05-27.

COMASTRI FILHO, J. A. Biogás independência energética do pantanal mato-grossense. **Circular Técnica**, EMBRAPA, UEPAE, Corumbá, MT, n. 9, out. 1981. 53p. Disponível em: <<https://goo.gl/v15Q6m>>. Acesso em: 11 jun. 2012.

DEGANUTTI, R. et al. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. In: ENCONTRO DE ENERGIA DO MEIO RURAL, 5, 2002, Bauru. **Anais...** Bauru: Embrapa, 2002. Disponível em: <<https://goo.gl/GmDZrV>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

DOTTO, R. B.; WOLFF, D. B. Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos. **Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 13-26, 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/LbXJcA>>. Acesso em: 02 out. 2013.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestor em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo, PR**. 2003. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/hKN3nI>>. Acesso em: 04 out. 2013.

LUCAS JÚNIOR, J.; SOUZA, C. F.; LOPES, J. D. S. **Construção e operação de biodigestores**. Viçosa, MG: CPT, 2009. 158p.

MACEDO, J. A. B. **Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas**. Belo Horizonte: Macêdo, 2003. p. 172-181.

NEVES, V. L. V. **Construção de biodigestores para a produção de biogás a partir da fermentação de esterco bovino**. 2010. 57f. Monografia (Graduação em Tecnologia em Biocombustíveis) - Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba, 2010.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão**: a alternativa energética. São Paulo: Nobel, 1986. 94p.

OLIVEIRA, P. A. V. Impacto ambiental causado pelos dejetos de suínos. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE NUTRIÇÃO DE SUÍNOS, 1994, Campinas/SP. **Anais...** Campinas/SP: EMBRAPA - CNPSA, 1994. p. 27-40.

SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MARCHETTI, D. Construção e funcionamento de biodigestores. **Circular Técnica**, EMBRAPA/CPAC, Brasília, n. 4, 1981. 60p.

SGANLERLA, E. **Biodigestor**: uma solução. Porto Alegre: Agropecuária, 1983. 88p.

SILVA, L. L. et al. Princípios de termoelétricas em pequenas propriedades rurais. In: 2º INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION. 2009. São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/GgyYqk>>. Acesso em: 02 jun. 2012.

SOUZA, S. N. M. et al. Custo da Eletricidade Gerada em Conjunto Motor Gerador Utilizando Biogás da Suinocultura. **Revista Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 26, p. 127-133, 2004.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de solos, UFRGS, 1995. 174p.

TURDERA, M. V.; YURA, D. Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de Dourados. In: 6º ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, v. 1, 2006, Campinas. **Anais...** Campinas, 2006. Disponível em: <<https://goo.gl/sCLmf1>>. Acesso em: 02 jun. 2012.