

Biodigestor Boitató: possibilidades para a recuperação energética descentralizada

Estudio de caso



Antonio Celso Cavalieri Lins de Souza* ; Gilberto Martins 

Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC - UFABC

*antonio.celso@ufabc.edu.br

Resumo

A digestão anaeróbia pode ser a solução para dois grandes problemas atuais, a geração de resíduos e a substituição dos combustíveis fósseis, no entanto reatores anaeróbios em grande escala para tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos ainda encontram-se em fase experimental. Uma possibilidade é o uso de pequenos e micro biodigestores que permitam a recuperação energética e tratamento dos resíduos de forma descentralizada. Dessa forma apresenta-se neste trabalho um caso bem sucedido de um biodigestor anaeróbio operando de forma estável com restos de alimentos e dejetos de animais domésticos, esse possui 200 L (volume útil), e foi monitorado durante 30 dias, utilizando-se 3,5 kg de resíduos e obtendo-se 818 L de biogás nesse período. Tal produção aponta a possibilidade da biodigestão anaeróbia em escala doméstica e em ambiente urbano.

Palavras-chave:

Digestão anaeróbia descentralizada; Reatores anaeróbios domésticos; Dejetos de animais domésticos; Restos de alimentos; FORSU.

Biodigestor Boitata: possibilities for decentralized energy recovery

Abstract

Anaerobic digestion can be the solution to two major current problems, the generation of waste and the replacement of fossil fuels, however large-scale anaerobic reactors for treating the organic fraction of urban solid waste are still in the experimental phase. One possibility is the use of small and micro biodigesters that allow energy recovery and waste treatment in a decentralized manner. Thus, this work presents a successful case of an anaerobic biodigester operating in a stable manner with food waste and animal waste, it has 200 L (useful volume), and was monitored for 30 days, using 3.5 kg of waste and obtaining 818 L of biogas in this period. Such production points to the feasibility of anaerobic biodigestion on single household scale in an urban environment.

Keywords:

Anaerobic digestion decentralized; Domestic anaerobic reactor; Domestic animal waste; Food waste; MSWOF.

Forma de citar: Cavalieri Lins de Souza, A. C., & Martins, G. (2022). Biodigestor Boitató: possibilidades para a recuperação energética descentralizada. RedBioLAC, 6(1), 4-9.

Introdução

Entre os diversos problemas que a humanidade precisa lidar estão a crise energética e o aumento da produção de resíduos. A crise energética se deve à alta dependência dos combustíveis fósseis, que atualmente representam cerca de 80 % das fontes primárias energéticas usadas no mundo (Energy Information Association -EIA, 2021). O uso de tais fontes está associado às emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE) e por consequência ao aquecimento global. Além das emissões, tais fontes são recursos finitos (Chapman, 2014), assim há um conjunto de implicações socioeconômicas associadas à finitude desses recursos (Friedrichs, 2010).

O aumento da população e da urbanização em escala mundial têm levado ao aumento da produção de resíduos (Kiyasudeen *et al.*, 2016), cerca de 50 % do Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é composto pela fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU) (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, 2021). O uso de tecnociências para a recuperação de nutrientes da fração orgânica dos resíduos é antigo, os povos originários amazônicos fazem uso há milhares de anos da Terra Preta de Índio (Clement *et al.*, 2015), que é uma técnica de compostagem aeróbica.

Em diversas partes do Mundo busca-se novos arranjos sociotécnicos e econômicos que permitam a recuperação energética e de nutrientes dos resíduos, tais como o uso de digestores anaeróbios, compostagem aeróbica, entre outros (Ntostoglou *et al.*, 2021). A ciência e a tecnologia da biodigestão anaeróbia é bem estabelecida, ainda que existam fronteiras do conhecimento a serem exploradas (Abbasi *et al.*, 2012), no entanto o uso desta para o tratamento dos RSU é incipiente no Brasil (Lima Júnior, 2015).

Por intermédio dos biodigestores pode-se efetivamente construir uma economia circular. Tal circularidade pode iniciar-se pelo lar (inclusive pela aceção de origem da palavra economia), seguindo pela vizinhança, comunidade, e abarcando toda a sociedade. Assim ressalta-se a importância da recuperação energética e de nutrientes da FORSU de forma descentralizada e utilizando-se um microbiodigestor.

O uso da recuperação energética e de nutrientes descentralizada é uma forma de envolvimento das pessoas e das comunidades, utilizando-se de fenômenos sociológicos como “efeito vizinhança” (Mattos, 2017), para envolver as pessoas na gestão de seus próprios resíduos. Além disso, essa prática pode ser realizada em espaço urbano e periurbano, evitando-se o consumo de combustível e outros impactos associados a todo sistema de coleta, transbordo e aterramento da FORSU.

Descrição do caso

O uso de digestores em espaço rural é bastante difundido pelo Brasil e América Latina, nesses espaços encontram-se em uso diversos modelos como o biodigestor Sertanejo (Mattos & Farias Júnior, 2011), os biodigestores tubulares (Martí Herrero, 2019) entre diversos outros. No entanto, não é muito comum o uso de biodigestores em espaço urbano, embora haja alguns modelos comerciais tais como o Homebiogas (Homebiogas, 2021) e o Biodigestor IBC (Solar C3ities, 2020).

O biodigestor em espaço urbano precisa ser bem vedado de forma a não permitir entrada de insetos e animais, não apresentar odor durante a operação, ser seguro, a instalação deve ser simples, permitindo eventuais mudanças de lugar, ser escalável, barato e fácil de construir e operar. Outra característica fundamental é a flexibilidade de uso de diversos substratos. Os reatores do tipo mistura completa (CSTR *Continuously Stirred Tank Reactor*) apresentam justamente a possibilidade de uso com diversos tipos de substrato.

Com vistas ao atendimento de todas essas características, selecionou-se o modelo Colombiano de uso público (Peterson *et al.*, 2017), com algumas adaptações. Os reatores construídos, possuem um volume útil de 200 L e um tempo de retenção hidráulica de 100 dias, conforme pode-se observar na Figura 1.

A construção dos reatores ocorreu em atividade de formato oficina, como se pode observar na Figura 2, com a participação de um público muito variado, em gênero, raça, idade e conhecimento, sem dificuldades com a construção. Uma preocupação bastante comum entre os participantes foi a respeito da segurança de uso do biogás.

Ao projeto desse biodigestor deu-se o nome de Boitatá devido à lenda Tupi-Guarani de uma entidade mítica protetora das matas, associada à explicação do fenômeno de auto-combustão de biogás que ocorre em brejos.

Para fins de análise utilizou-se um biodigestor Boitatá, que originalmente ficaria no Espaço de Tecnologias e Artes do Sesc/Santos, mas devido a pandemia o reator foi realocado na residência do pesquisador. Tal reator teve sua partida iniciada com 50 Kg de estrume bovino fresco, acrescido de cerca de 100 L de água, após três semanas houve o início da emissão de gases.

Após o período de partida e aclimação, o biodigestor foi monitorado durante cerca de 30 dias, pesando-se o substrato inserido e o registrando-se o volume de gás gerado, para tal utilizou-se uma balança de cozinha (precisão de 1g) e um medidor volumétrico de biogás da marca Ritter modelo MilliGasCounter (MGC-1 V3.4).

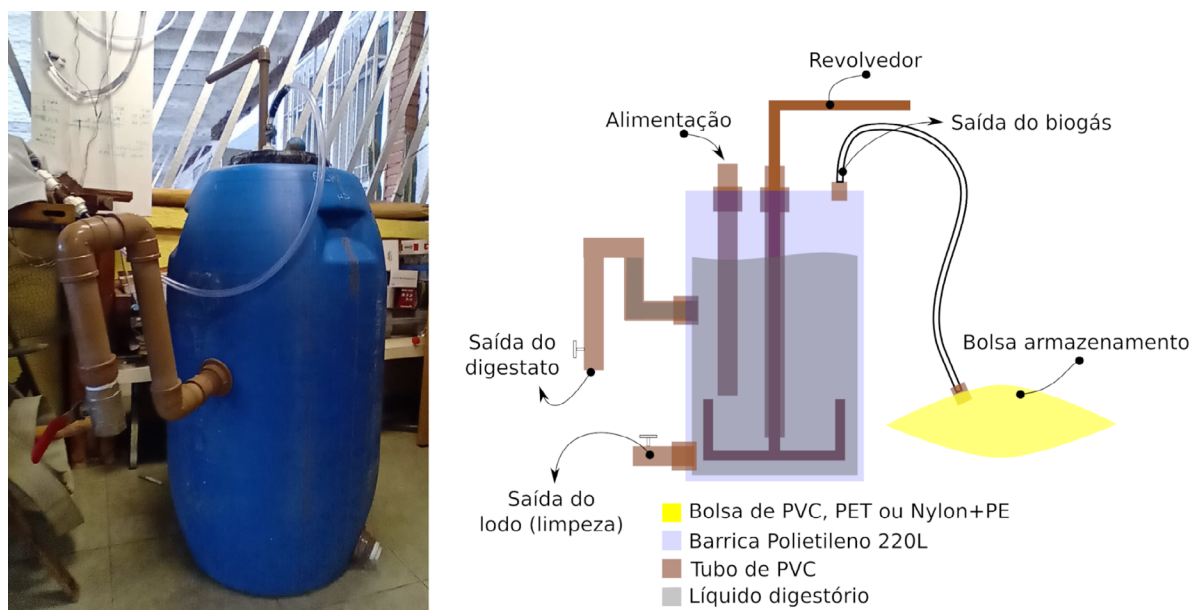


Figura 1 | Biodigestor Boitatá , a) foto montado e operando e b) esquema geral.



Figura 2 | Oficinas de construção do Biodigestor Boitatá.

A inserção do substrato no biodigestor ocorreu conforme sua disponibilidade, geralmente manteve-se um regime de alimentação diário, isso inclusive é um dos desafios do uso da FORSU como substrato para biodigestão anaeróbia na escala de um domicílio, em função da enorme variabilidade em qualidade e quantidade.

Resultados e lições aprendidas

A alimentação do biodigestor após a partida constituiu-se de caldo de feijão (cerca de 40 g ao dia) e lentamente foi-se inserindo outros restos de alimentos (RA). Após 4 meses atingiu-se a alimentação diária de cerca de 200g, essa carga orgânica foimantida durante o período de análise, durante todo o período o substrato foi diluído em água (volume total de 2 L).

Durante o período de análise produziu-se 818 L de biogás e utilizou-se cerca de 3,5 kg de FORSU, a medição

volumétrica de biogás ocorreu de forma contínua, enquanto o substrato foi inserido em 18 eventos ao longo dos 30 dias. Esse período de análise ocorreu 5 meses após a inoculação, portanto toda a matéria orgânica convertida é oriunda desse substrato inserido.

Conforme apresentado na [Figura 3](#), a maior parte do substrato inserido no Boitatá foi de restos de alimento. Os sólidos totais e voláteis foram estimados baseando em série de sólidos pesquisado em literatura ([Souza, 2021](#)).

Durante o período de análise foi possível encontrar os valores apresentados na [Figura 4](#), onde observou-se a relação entre a quantidade de substrato inserido no reator ao longo de 30 dias (18 eventos) e a produção de biogás. Todo o gás gerado no período foi utilizado em fogareiro adaptado e não houve qualquer anormalidade em relação à queima conforme pode-se observar na [Figura 5](#).

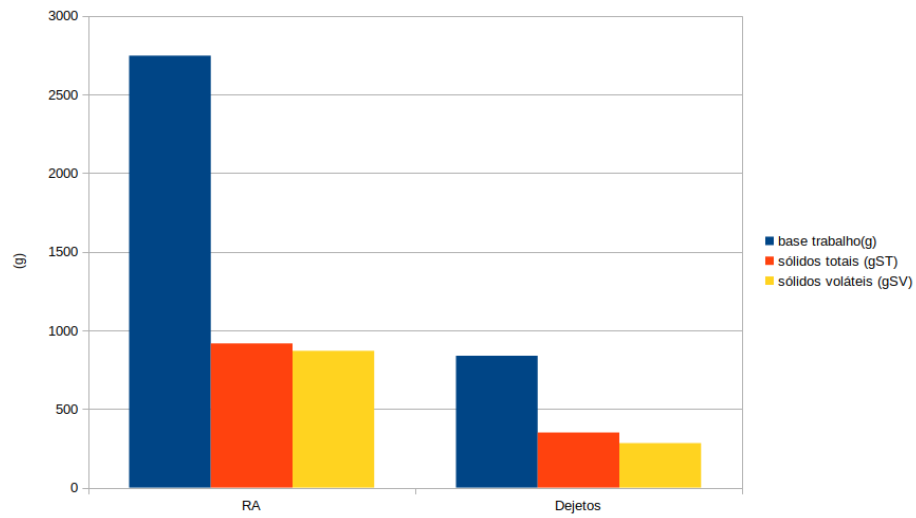


Figura 3 | Gráfico com as quantidades em base de trabalho, e estimadas e Sólido totais e voláteis.

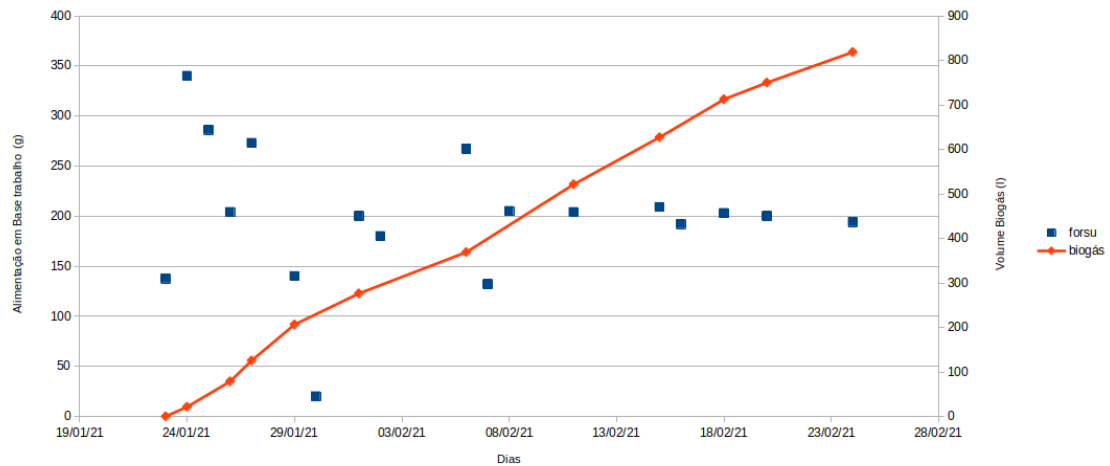


Figura 4 | Gráfico volume acumulado de biogás e alimentação do Boitatá no período considerado.



Figura 5 | Uso do biogás do Boitatá operado com RA e Dejetos de animais em fogareiro adaptado.

Ao final do processo uma amostra do biogás foi encaminhada ao Laboratório de Processos e Produção de Biogás no Campus São Bernardo da UFABC, foi utilizado o analisador portátil de Gás Landtec GEM5000, obtendo-se a composição aproximada de 63 % de metano, 29 % de dióxido de carbono, 2,5 % de oxigênio, os restantes 5,5 % de outros gases (nitrogênio, monóxido de carbono e hidrogênio) e cerca de 250 ppm de H_2S . Os dados da análise podem ser vistos na [Tabela 1](#).

Uma proposta de solução ainda que parcial que se mostrou viável no caso do presente trabalho foi o uso de kits comerciais de medição de parâmetros de piscina. Para tanto utilizou-se um kit (marca Hth) que faz uso de fita colorimétrica, tendo sido possível encontrar o pH e também a alcalinidade total.

Uma primeira limitação desses kits refere-se a sensibilidade, no caso da medição de alcalinidade, necessitando-se a diluição de 1 para 10 volumes do digestato em água destilada para este parâmetro poder ser analisado, além disso tais fitas mensuram a alcalinidade total, assim buscou-se manter a alcalinidade total entre 1000 a 2000 mg $CaCO_3$. Para a correção utilizou-se Carbonato de Cálcio e Cal hidratada, também há indícios de bom resultado utilizando-se casca de ovo.

O principal problema encontrado na operação do digestor Boitatá foi a falta de homogeneidade da geração da FORSU, tal fato pode ser observado na inconstância em massa apresentada no gráfico da [Figura 4](#). Estimando-se que todo o substrato possa ser degradado em AGV, tem-se que o limite estabelecido para a carga orgânica volumétrica máxima ($COV_{máx}$) de 1 gSV/L.dia, em termos de reatores CSTR a literatura aponta como limite entre 1,5 à 3 gSV/L.dia. Assim o limite máximo de substrato que pode ser inserido por dia é de cerca de 200 gSV, que em termos de base de trabalho representa em torno de 1 Kg de FORSU por dia. Em termos energéticos, baseando-se nos resultados apresentados na [Tabela 1](#), essa quantidade de substrato poderia gerar em torno de 140 L de biogás por dia.

Além do problema da homogeneidade do substrato um segundo problema refere-se à estabilidade da temperatura do reator, assim é necessário construir uma isolamento térmica do reator e um sistema de aquecimento do substrato diluído a fim de lentamente aquecer e manter essa temperatura do reator.

O foco do uso do Boitatá é a recuperação energética, além da gestão dos resíduos orgânicos domésticos, mas compreende-se como importante a recuperação de nutrientes, o digestato de digestores anaeróbios é comumente utilizado como biofertilizantes, no entanto é necessário realizar mais pesquisas relacionadas ao digestato oriundo de dejetos de animais domésticos, principalmente em relação aos patógenos bem como a composição de macro e micronutrientes desse.

Conclusões e recomendações

A análise dos dados obtidos com esse caso apontam a possibilidade da recuperação energética descentralizada através da digestão anaeróbia dos RA e dejetos de animais domésticos (constituintes da FORSU). Em relação à recuperação de nutrientes e o uso do digestato como biofertilizante ainda necessita-se maiores pesquisas, principalmente devido à fitossanidade pelo uso dos dejetos de animais domésticos.

A principal recomendação aos projetos futuros é a necessidade de adaptação às condições do entorno do digestor, dentro de uma faixa de tolerância, e de forma gradual, é possível ir adaptando-se a alimentação do reator, tanto em termos de quantidade de substrato quanto em relação à sua composição.

Entre os diversos parâmetros avaliados, verifica-se que a alcalinidade (parcial e intermediária), o volume e a composição do biogás mostram-se como essenciais para o monitoramento da estabilidade de reatores operando com RA objetivando a recuperação energética.

Tabela 1 | Parâmetros encontrados durante o período de análise do Boitatá.

Carga orgânica volumétrica	$0,175 \text{ gSV} \cdot \text{L}_{\text{reator}}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$
Taxa biogás	$27,28 \text{ L} \cdot \text{dia}^{-1}$
Produção específica biogás	$0,710 \text{ L}_{\text{biogás}} \cdot \text{gSV}^{-1}$
Produtividade biogás	$0,124 \text{ L}_{\text{biogás}} \cdot \text{L}_{\text{reator}}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$

Referências

- Abbasi T., Taussef S. M., & Abbasi S. A. (2012). *Biogas Energy*. Londres: Springer.
- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE. (2020). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020. <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>
- Chapman, I. (2014). The end of peak oil? Why this topic is still relevant despite recent denials. *Energy Policy*, 64, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.010>
- Clement, C. R., Denevan, W. M., Heckenberger, M. J., Junqueira, A. B., Neves, E. G., Teixeira, W. G., & Woods, W. I. (2015). The domestication of Amazonia before European conquest. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1812), 20150813. <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.0813>
- Energy Information Association -EIA. (2021). World Energy Balances 2020. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances>
- Friedrichs, J. (2010). Global energy crunch: How different parts of the world would react to a peak oil scenario. *Energy Policy*, 38(8), 4562–4569. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.011>
- Homebiogas. (2021). Como funciona?. Bio Movement distribuidor exclusivo Homebiogas. <https://homebiogas.com.br/como-funciona/>
- Kiyasudeen, K. S., Ibrahim, M. H., Quaik, S., & Ismail, S. A. (2016). *Prospects of organic waste management and the significance of earthworms*. Springer.
- Lima Júnior, R. G. S. (2015). *Estratégias de compostagem como pré-tratamento de resíduos sólidos orgânicos*. [Tese de Doutorado COPPE, UFRJ]. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Martí-Herrero, J. (2019). *Biodigestores tubulares: Guía de Diseño y manual de instalacion*. (RedBioLAC, Ed.).
- Mattos, L. C., & Farias Júnior, M. (2011). *Manual do biodigestor Sertanejo*. Projeto Dom Helder Camara.
- Mattos, M. (2017). Efeitos vizinhança e eficácia coletiva: A relevância do contexto na explicação sociológica. *Revista Sociedade e Estado*, 33(1), 295-301. <https://doi.org/10.1590/s0102-699220183301012>
- Ntostoglou, E., Khatiwada, D., & Martin, V (2021). The Potential Contribution of Decentralized Anaerobic Digestion towards Urban Biowaste Recovery Systems: A Scoping Review. *Sustainability*, 13(23), 13435. <https://doi.org/10.3390/su132313435>
- Peterson, E. C., Villegas, M. F., Langeveld, J. W. A., & Quist-wessel, P. M. F. (2017). Evaluation of Low-Cost Enhanced Biodigesters for Public Use in Rural Societies in Colombia. 25th European Biomass Conference and Exhibition, Estocolmo. <https://doi.org/10.5071/25thEUBCE2017-2CV.4.16>
- Solar C³ities. (2020). How to Build a solar C3ities IBC Biodigestes. <http://www.solarcities.eu/education/388>
- Souza, A. C. C. L. (2021). *Os biodigestores em microescala no contexto de práticas sociais urbanas*. [Dissertação de Pós-Graduação em Energia da UFABC]. Universidade Federal do ABC.