

III-114 – PROPOSTA DE SISTEMA INTEGRADO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS PARA ATENDIMENTO A PEQUENOS NÚCLEOS POPULACIONAIS

Augusto de Assis Temponi Cabral Dias ⁽¹⁾

Engenheiro ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo ⁽²⁾

Professor titular da Universidade Federal de Minas Gerais.

Catarina Azevedo Borges ⁽³⁾

Estudante de engenharia ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Endereço⁽¹⁾: Rua Nancy de Vasconcelos Gomes, 31, apto 201 - Sagrada Família – Belo Horizonte – MG - CEP: 31030-070 – Brasil – Tel: (31) 98045-0102 – e-mail: augustotemponi@gmail.com

RESUMO

No Brasil, cerca de 40% dos RSU são destinados inadequadamente. A situação piora quando considerado grupos populacionais dispersos e afastados dos grandes centros urbanos. Estudos apontam que na área rural cerca de 70% dos domicílios não dispõem de qualquer tipo de coleta de seus resíduos, sendo adotadas predominantemente práticas inadequadas, tais como a queima, o aterramento e a disposição em terrenos baldios, logradouros ou corpos hídricos. A importância do tratamento dos resíduos orgânicos está associada aos impactos socioambientais decorrentes da disposição incorreta dessa fração, ao grande volume produzido (cerca de 50% do total gerado) e às possibilidades de retorno energético e agrícola. O presente trabalho estuda a possibilidade de se utilizar um sistema integrado para tratamento de resíduos orgânicos com aproveitamento energético e agrícola dos subprodutos gerados, visando o atendimento de pequenos grupos populacionais. Buscou-se propor um sistema robusto, simplificado operacionalmente e de baixo custo, de modo a atender grupos populacionais de no mínimo 100 pessoas, cuja geração aproximada de resíduos orgânicos é da ordem 25 kg.dia⁻¹. Com base nos resultados da Plataforma de Metanização de Resíduos Orgânicos da UFMG (pMethar) e em dados da literatura, foi possível pré-dimensionar o sistema de tratamento de resíduos proposto e estimar a produção de biogás, para geração de energia, e de biossólidos, para fertilização agrícola. Os resultados indicam retornos energéticos e agrícolas de até R\$ 2.075,93 e R\$ 766,50, respectivamente, por ano. A aceitação e adoção do sistema proposto, pela população, depende de trabalho de esclarecimento e de mobilização social, a fim discutir os aspectos técnicos, ambientais e de saúde pública envolvidos, como também os benefícios e responsabilidades associadas.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento, Resíduos Orgânicos, Digestão Anaeróbia, Metanização, Biogás.

INTRODUÇÃO

A Lei nº 11.445/2007 dispõe sobre as diretrizes e define saneamento básico no Brasil, a qual engloba o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem das águas pluviais. Indica também alguns princípios fundamentais para a prestação de serviços públicos de saneamento básico, dentre eles, a universalização, que se refere ao acesso ao saneamento básico a todos os brasileiros (BRASIL, 2007).

Para a implementação das diretrizes determinadas pela Lei nº 11.445/2007, o Ministério das Cidades propôs o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) que, além de realizar uma análise situacional e resumir bases legais, determina cenários, metas, necessidades de investimento, programas e estratégias, sendo um eixo central da política federal para o saneamento básico. O PLANSAB caracterizou o déficit em saneamento básico no Brasil e evidenciou um cenário de não atendimento à universalização do acesso aos serviços no país. Esse déficit se agrava quando são considerados os grupos populacionais afastados dos grandes centros urbanos, como é o exemplo da população rural e das comunidades tradicionais, como as indígenas, quilombolas e reservas extrativistas.

A situação dos resíduos sólidos domiciliares (RSD) confirma o déficit apontado pelo PLANSAB e o seu agravamento em grupos populacionais afastados. Quanto ao serviço de coleta dos RSD, estima-se que em 2008, apesar do elevado percentual de atendimento em áreas urbanas (89,3%), na área rural 71,2% dos domicílios não dispunham de qualquer tipo de coleta de seus resíduos. A falta de atendimento nas áreas rurais também é maior em números absolutos. Os 71,2% sem solução para o afastamento dos RSD equivalem a quase 22 milhões de habitantes e os 10,7% não atendidos em áreas classificadas como urbanas representam cerca de 17 milhões de brasileiros (PLANSAB, 2011). Diante dessa situação, são adotadas práticas inadequadas para o afastamento do RSD tais como a queima, o enterramento em propriedade, a disposição em terrenos baldios ou o descarte em corpos d'água.

No âmbito da disposição ou tratamento dos resíduos a situação é ainda pior, sendo observado carência de soluções inclusive em zonas urbanas. Em 2014, por exemplo, 41,6% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) coletados tiveram destino inadequado (ABRELPE; 2015).

Por representar grande parcela dos resíduos gerados (cerca de 50%), a fração orgânica tem o enfoque deste estudo. Os resíduos orgânicos, quando dispostos inadequadamente, podem provocar a decomposição descontrolada da fração orgânica, o que implica em diversos impactos socioambientais, tais como: emissão de gases efeito estufa (GEE), geração de odores, contaminação de águas superficiais e subterrâneas pelo chorume (líquido percolado de alta carga poluidora), elevada demanda por área para disposição dos resíduos, além de diversos problemas sociais e de saúde pública. Por outro lado, se encaminhados corretamente para sistemas de disposição ou de tratamento, esses resíduos podem servir de matéria prima para a produção de compostos com valor econômico agregado, que podem ser utilizados como fonte de energia ou para fertilização orgânica.

Diante do apresentado, a digestão anaeróbia controlada de resíduos orgânicos (Metanização) coloca-se como instrumento promissor. Processos anaeróbios são distinguidos pelo seu potencial em transformar fontes de biomassa com elevada biodegradabilidade - a exemplo dos resíduos orgânicos - em biogás, o qual detém potencial de recuperação energética, e subprodutos orgânicos com potencial de reutilização agrícola.

Sistemas anaeróbios de tratamento de resíduos são amplamente empregados em países europeus, China e Índia. Na Europa, usualmente, são utilizados sistemas centralizados de alta tecnologia, com capacidade para tratar elevado volume de resíduos. Embora estejam atrelados à maior eficiência de tratamento e produção de biogás, esses sistemas apresentam elevados custos de implantação e operação. Por outro lado, na China e na Índia são utilizados modelos simplificados que, apesar dos pequenos custos associados, apresentam baixa eficiência.

O presente trabalho mesclou princípios desses dois grupos de tecnologias visando atender a realidade brasileira. A importância do tratamento dos resíduos orgânicos está associada aos impactos socioambientais decorrentes da disposição incorreta dessa fração, ao grande volume produzido (cerca de 50% do total gerado) e às possibilidades de retorno energético e agrícola. Buscou-se propor um sistema robusto, simplificado operacionalmente e de baixos custos, de modo a atender pequenos grupos populacionais. O objetivo principal desta proposta foi propor um sistema capaz de suprir uma demanda social atendendo pequenos grupos populacionais, tais como: comunidades quilombolas, agrovilas, assentamentos e comunidades rurais. A tecnologia proposta também apresenta potencial como alternativa de tratamento em outras aplicações, tais como em restaurantes, pequenas empresas, sítios, condomínios, prédios, entre outros.

MATERIAL E MÉTODOS

O pré-dimensionamento do sistema baseou-se na produção diária de resíduos orgânicos de 25 kg.dia⁻¹, total gerado por um núcleo de 100 pessoas (ONOFRE, 2011).

Concepção e pré-dimensionamento do sistema de tratamento de resíduos orgânicos

Visando atender à realidade brasileira, a proposta utiliza princípios de sistemas anaeróbios para tratamento de resíduos orgânicos empregados na Europa e na China. Complementarmente, alguns critérios e parâmetros adotados foram obtidos a partir da experiência de projeto e de operação da Plataforma de Metanização de Resíduos Orgânicos (pMethar), instalada no Campus Pampulha da UFMG. Na pMethar foi analisado o

desempenho de um digestor anaeróbio de estágio único, via úmida e operado à temperatura ambiente sob a aplicação de diferentes cargas orgânicas volumétricas de resíduos orgânicos alimentares gerados em um restaurante universitário, conforme reportado por Ferreira (2015).

A Figura 1 mostra as diferentes etapas que integram o sistema para tratamento de resíduos orgânicos proposto. Após coleta, os resíduos orgânicos passam por uma etapa de condicionamento e são direcionados a um reator de metanização de estágio único e sob via úmida. O processo de tratamento gera os subprodutos biogás e lodo digerido (digestato), que são destinados para aproveitamento energético e agrícola, respectivamente. No caso do biogás propõe-se uma etapa de dessulfuração por filtro de adsorção de óxido de ferro (Fe_2O_3) antes de seu aproveitamento.

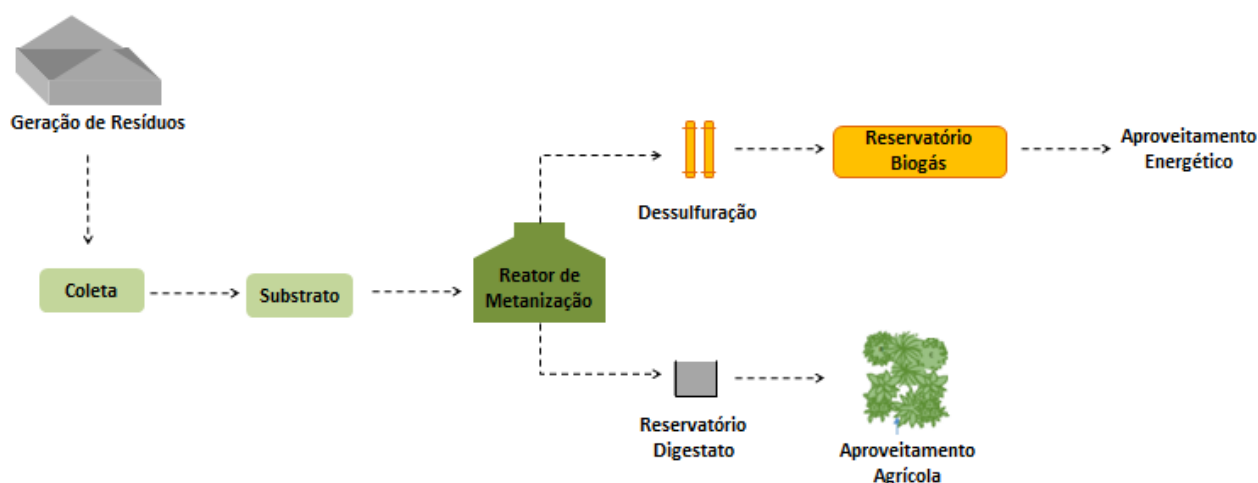


Figura 1: Fluxograma do Sistema Integrado de Tratamento dos Resíduos Orgânicos.

O reator de metanização foi pré-dimensionado para tratar 25 kg.dia^{-1} de resíduos orgânicos alimentares (base úmida) tendo como base os seguintes critérios e parâmetros principais: teor de sólidos voláteis dos resíduos orgânicos de 20% (GOMES, 2014); carga orgânica volumétrica de $2,0 \text{ kgSV.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ (FERREIRA, 2015); e teor de sólidos voláteis do substrato de 10% (PROBIOGAS, 2012). A partir desses elementos, foram determinados a vazão afluyente de substrato, o volume útil e o tempo de detenção hidráulica do reator de metanização.

Além disso, foram calculadas a produção diária de biogás, a quantidade de óxido de ferro necessária e os volumes do filtro de dessulfuração e do reservatório, com o intuito de dimensionar o sistema de dessulfuração e o reservatório de biogás. Considerou-se rendimento de produção de biogás de $0,6 \text{ m}^3\text{Biogás.kgSV}^{-1}$ (FERREIRA, 2015), capacidade de tratamento e densidade dos pellets de Fe_2O_3 de $160 \text{ m}^3\text{Biogás.kgPellet}^{-1}$ e $0,75 \text{ ton.m}^{-3}$ (coletadas no catálogo do fornecedor do produto), respectivamente.

Por fim, foi pré-determinado o volume mínimo do reservatório para o lodo digerido gerado. Considerando que a perda de volume da fração líquida no reator de metanização é desprezível, a produção diária de digestato pode ser aproximada pela vazão afluyente de substrato. O reservatório foi calculado considerando tempo de detenção hidráulica 01 (um) dia.

Estimativa de produção de biogás e dos retornos que podem ser obtidos a partir do seu aproveitamento energético

A produção anual de biogás foi estimada considerando o rendimento médio de produção de $0,6 \text{ m}^3\text{Biogás.kgSV}^{-1}$ (FERREIRA, 2015). A partir disso, estudou-se os ganhos associados à utilização do mesmo para o aquecimento de água ou como substituinte do gás de cozinha, que são demandas térmicas presentes nos grupos populacionais alvo. Para os cálculos, considerou-se biogás com 60% de CH_4 .

Estimativa de produção de digestato e dos retornos que podem ser obtidos a partir do seu uso como fertilizante

O uso agrícola do lodo digerido (digestato) foi avaliado na produção do milho e do capim tifton 85, culturas muito empregadas e que possuem valor de mercado. A análise foi baseada na carga de nitrogênio aplicada ao solo, tendo em vista a alta concentração desse nutriente no digestato e a sua importância para o bom desenvolvimento das culturas. O volume diário de digestato foi calculado a partir do volume diário de substrato adicionado (50 L.dia^{-1} , adotando 10% de SV). Considerou-se concentração de nitrogênio de 3 g.L^{-1} (LUKEHURSTU, 2010), sendo o seu percentual de aproveitamento nos cultivos de 80% (LUKEHURSTU, 2010).

RESULTADOS

Concepção e pré-dimensionamento do sistema de tratamento de resíduos orgânicos

Seguem as principais características do reator de metanização, componente principal do sistema.

Tabela 1: Principais características do reator de metanização.

Parâmetros	Biodigestor
Volume útil (m^3)	2,50
Altura útil (m)	1,42
Diâmetro nominal (m)	1,5
Área Superficial (m^2)	1,76
Tempo de detenção hidráulica médio (d)	50

Por se tratar de um biodigestor de pequeno volume útil ($2,50 \text{ m}^3$), o peso do sistema é relativamente baixo e não demanda fundação civil complexa. Foi estabelecida a introdução do substrato manualmente por tubo afogado no digestato. O tubo de introdução é de fácil acesso, conforme observado na Figura 2 e possui na extremidade uma tampa rosqueada no intuito de mitigar o odor e a fuga de gases gerados no processo. Propõe-se um reator de metanização que trabalhe à temperatura ambiente tendo em vista a simplificação operacional. Em locais de baixa temperatura existe a possibilidade da instalação de resistência elétrica para aquecimento.

O reator de metanização conta ainda com um pequeno agitador associado ao sistema. O motor é posicionado na parte superior do reator e a pá misturadora tem acesso na parte interna através de um tubo afogado no digestato com o intuito de evitar fugas significativas de biogás. Alternativamente, pode-se utilizar sistemas de agitação hidráulica constituído por bombas ou, para evitar consumo de energia elétrica, pá misturadora manual. O reator de metanização também conta com tampa de acesso de 500 mm de diâmetro, assim como pontos para extração do digestato e do biogás. Em seguida segue ilustração esquemática do sistema (Figura 2).

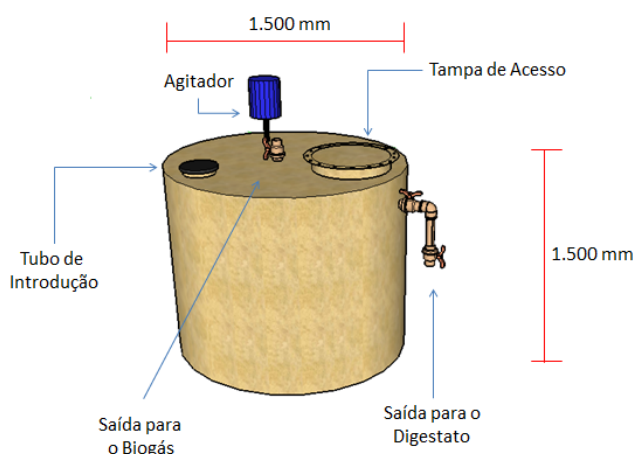


Figura 2: Ilustração esquemática do Reator de Metanização e seus Componentes.

Dentre os outros constituintes do sistema pré-dimensionado estão: (1) aparatos para recebimento e condicionamento dos resíduos; (2) selos hídricos (pressão máxima 40 mmH₂O); (3) filtros de dessulfuração do biogás (V = 10 L); (4) reservatório de biogás (V = 3 m³); (5) reservatório de digestato (V = 50 L).

Estimativa de produção de biogás e dos retornos que podem ser obtidos a partir do seu aproveitamento energético

A Figura 3 mostra o potencial energético e econômico do uso do biogás produzido pelo reator de metanização em diferentes âmbitos – Água Quente para Banho e Gás de Cozinha.

Parâmetro	Valor	Unidade
Produção Anual de Biogás	1.095	m ³ . ano ⁻¹
Potencial Térmico – Água Quente	4.380	banhos.ano ⁻¹
Equivalente Pago por Chuveiro Elétrico	1.547,45	R\$. ano ⁻¹
Potencial Térmico – Gás de Cozinha	41,5	botijões 13 Kg. ano ⁻¹
Equivalente Pago por Gás de Cozinha	2.075,93	R\$. ano ⁻¹

Figura 3: Potencial energético e econômico do uso do biogás.

O uso térmico do biogás em sistemas descentralizados e de baixo custo deve ser priorizado, uma vez que, em comparação com o uso de energia elétrica, possibilita uma redução drástica do investimento inicial e simplifica o processo de transformação energética pela substituição do grupo motogerador por sistemas mais baratos e com maior simplicidade operacional.

Foram obtidos bons resultados para o aproveitamento térmico do biogás. No caso do uso como fonte de água quente para banhos, foi observada equivalência energética a 4.380 banhos.ano⁻¹. A economia pelo uso do biogás foi estimada pelo preço pago no caso do uso de chuveiros elétrico de 5.500 W (habituais no mercado), sendo que calculou-se uma economia de R\$ 1.547,45 por ano. Com relação ao uso como gás de cozinha, se estima equivalência energética a 41,5 botijões de 13 kg por ano. Considerando o preço do botijão a R\$ 50,00 foi obtida economia de R\$ 2.075,93 por ano pela utilização do biogás.

Estimativa de produção de digestato e dos retornos que podem ser obtidos a partir do seu uso como fertilizante

Foram estimadas a produção anual de digestato e a disponibilidade de nitrogênio para cultivos agrícolas. A produção anual de digestato estimada foi de cerca 18,25 m³. Já o nitrogênio disponível para os cultivos foi de 54,75 kg.ano⁻¹. Em seguida, segue a Figura 4 com os resultados:

Parâmetros	Milho	Tifton 85	Unidades
Nitrogênio Disponível para Cultivo	54,75	54,75	kg.ano ⁻¹
Área demandada	0,06	0,07	ha
Produção Obtida	773	1095	kg.ano ⁻¹
Retorno Econômico	436,96	766,50	R\$.ano ⁻¹

(1) Dosagem Ótima de Nitrogênio para o milho: 170 kg.hac⁻¹; Dosagem Ótima de Nitrogênio para o tifton 85: 600 kg.hac⁻¹.
 (2) N° Cultivos Milho: 4 cultivos.ano⁻¹; N° Cultivos Tifton 85: 1 cultivo.ano⁻¹.
 (3) Produtividade do Milho: 3000 kg.hac⁻¹; Produtividade do Tifton: 15000 kg.hac⁻¹.

Figura 4: Aproveitamento Agrícola do Digestato.

Observa-se maior retorno financeiro na produção de Tifton 85. Além do retorno financeiro, essa gramínea possui baixa demanda hídrica (cerca de 800 mm.ano⁻¹) o que é favorável a esse tipo de aplicação. Tampouco é um cultivo que demande procedimentos complexos. Além da aplicação do fertilizante orgânico, sugere-se o corte a cada 6 semanas.

CONCLUSÕES

O sistema proposto busca tratar a fração orgânica dos resíduos como uma opção energética e agrícola. Neste trabalho verificou-se bom retorno pelo aproveitamento dos subprodutos gerados no processo o que pode ser um fator motivador para implementação de sistemas do tipo. Os resultados indicam retornos energéticos e agrícolas de até R\$ 2.075,93 e R\$ 766,50, respectivamente, por ano, para um núcleo populacional de apenas 100 pessoas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F.; VERNEQUE, R. S.; BOTREL, M. A. Resposta do Tifton 85 a Doses de Nitrogênio e Intervalos de Cortes. vol.34, no.12, p.2345-2352. ISSN 0100-204X. 1999.
- ARAUJO, L.A.N. Adubação nitrogenada na cultura do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, n.8, p.771-777, 2004.
- FERREIRA, B. O. Avaliação de um Sistema de Metanização de Resíduos Alimentares com vistas ao Aproveitamento Energético do Biogás. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. 2015.
- GOMES, J. N. C. Potencial de produção de energia a partir da biometanização de resíduos orgânicos do campus Pampulha da UFMG. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. 2014.
- LIQUIGAS. Perguntas Frequentes. Disponível em: https://www.liquigas.com.br/wps/portal/!ut/p/c0/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hvPwMjIw93IwN_Cy9TAyM_L6_AAPNAI39zE_2CbEdFAPmfWrg!. Acesso em 04 de Dezembro de 2015.
- LUKEHURSTU, C. T. Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser. IEA BioEnergy. 2010.
- ONOFRE, F. L. Estimativa da Geração de Resíduos Sólidos Domiciliares. Dissertação do Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba. 2011.
- PROBIOGAS. Guia Prático do Biogás – Geração e Utilização. 5ª edição, Gülzow, 2010.