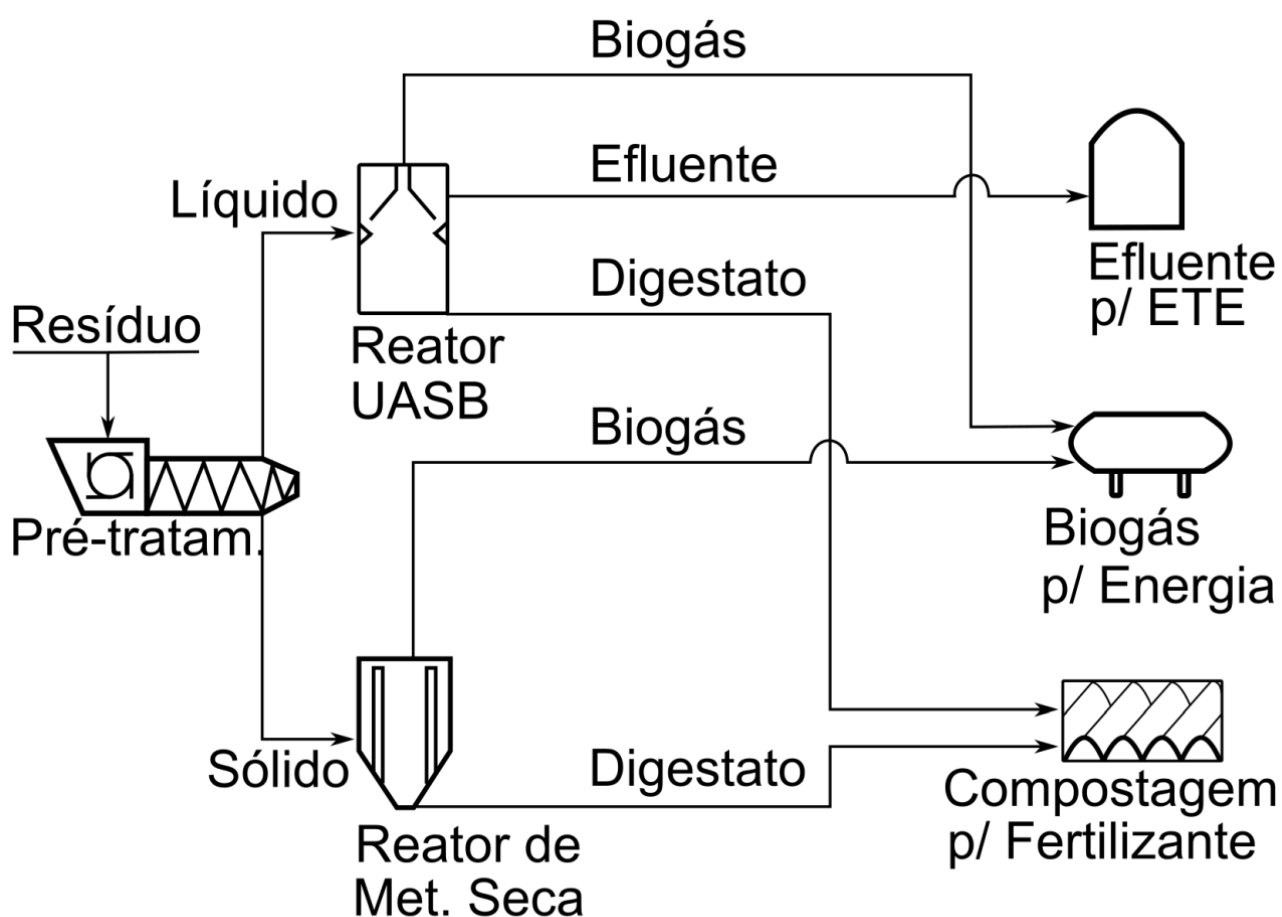




Produção de Biogás a Partir de Resíduos Orgânicos de Centrais de Abastecimento de Hortifrutigranjeiros



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroindústria Tropical
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

DOCUMENTOS 195

Produção de Biogás a Partir de Resíduos Orgânicos de Centrais de Abastecimento de Hortifrutigranjeiros

Renato Carrhá Leitão
William Magalhães Barcellos

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Agroindústria Tropical
Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici
CEP 60511-110 Fortaleza, CE
Fone: (85) 3391-7100
Fax: (85) 3391-7109
www.embrapa.br/agroindustria-tropical
www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Agroindústria Tropical

Presidente
José Roberto Vieira Júnior

Secretária-executiva
Celli Rodrigues Muniz

Secretária-administrativa
Eveline de Castro Menezes

Membros
*Antônio Genésio Vasconcelos Neto,
Ana Cristina Portugal Pinto de Carvalho,
Francisco Nelsieudes Sombra Oliveira,
Sandra Maria Morais Rodrigues,
Roselayne Ferro Furtado, Afrânio Arley
Teles Montenegro, Christiana de Fátima
Bruce da Silva, Laura Maria Bruno*

Revisão de texto
José Cesamildo Cruz Magalhães

Normalização bibliográfica
Rita de Cassia Costa Cid

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
José Cesamildo Cruz Magalhães

Figura da capa
Renato Carrhá Leitão

1ª edição
On-line (2021)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agroindústria Tropical

Leitão, Renato Carrhá

Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos de centrais de abastecimento de hortifrutigranjeiros / Renato Carrhá Leitão e William Magalhães Barcellos. – Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2021.

13 p. : il. ; 21 cm x 29,7 cm. – (Documentos / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 2179-8184; 195).

Publicação disponibilizada on-line no formato PDF.

1. Resíduos orgânicos. 2. Produção de biogás. 3. Hortifrutigranjeiros. 4. Digestão anaeróbia. 5. Metanização seca. I. Barcellos, William Magalhães. II. Título. III. Série.

CDD 665.776

Autores

Renato Carrhá Leitão

Engenheiro Civil, doutor em Ciências Ambientais, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

William Magalhães Barcellos

Engenheiro Mecânico, doutor em Engenharia Mecânica, pós-doutor em Combustão, professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

Apresentação

Uma alternativa mais sustentável para o reaproveitamento racional dos resíduos de centrais de abastecimento de hortifrutigranjeiros é a sua conversão em biogás, gerando energia e adubo orgânico, via processo de digestão anaeróbia. A digestão anaeróbia já é um processo bem conhecido. No entanto, normalmente são utilizados reatores de baixa carga orgânica volumétrica. Existem sistemas de alta taxa que podem ser empregados para a digestão desses resíduos, como, por exemplo, aqueles que empregam o processo de metanização seca.

Embora a metanização seca de resíduos orgânicos já venha sendo empregada principalmente na Europa, utilizando-se vários tipos de reatores anaeróbios, os procedimentos operacionais ainda não estão claros nem plenamente divulgados. Os parâmetros de projeto e de operação de reatores de alta taxa são segredos industriais, e faltam publicações científicas que mostrem os resultados de desempenho.

Os resíduos de atacadistas hortifrutigranjeiros têm características que limitam seu uso em reatores de metanização seca. No entanto, há a possibilidade de um novo processo que emprega um pré-tratamento para a separação das frações líquida e sólida, que serão digeridas em dois reatores em paralelo. Esse sistema híbrido pode maximizar a produção de biogás e aumentar a eficiência de conversão da matéria orgânica em biogás, aumentar a flexibilidade e robustez do processo e, ao mesmo tempo, reduzir os custos de investimentos.

Gustavo Adolfo Saavedra Pinto
Chefe-Geral da Embrapa Agroindústria Tropical

Sumário

Introdução.....	6
Resíduos de atacadistas de hortifrutigranjeiros como substrato para produção de biogás.....	8
Sistema apropriado para produção de biogás a partir de resíduos de frutas e verduras.....	8
Metanização seca.....	9
Considerações finais.....	10
Agradecimentos.....	11
Referências.....	11

Introdução

Resíduos sólidos orgânicos, sejam urbanos ou da agroindústria, são normalmente destinados a aterros sanitários ou incineradores, o que resulta em grandes impactos ambientais negativos e altos custos operacionais. Embora essas tecnologias sejam legalmente aceitas na maioria dos países, incluindo o Brasil, a fração orgânica desses resíduos, que representa aproximadamente 50% da massa total, poderia ser utilizada para produção de energia e fertilizante via digestão anaeróbia, conforme recomendado na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2012). Nesse processo, microrganismos anaeróbios promovem a degradação da matéria orgânica produzindo metano, que pode ser usado para geração de energia renovável, e um composto orgânico de excelente qualidade para uso agrícola como fertilizante (Cheong et al., 2020).

Apesar das vantagens ambientais do uso da digestão anaeróbia para tratamento dos resíduos orgânicos, a viabilidade econômica ainda é o principal entrave para seu uso mais extenso. A logística de coleta e separação dos resíduos orgânicos, a complexidade da operação de reatores biológicos, o tratamento do biogás e logística do transporte e o uso do composto são problemas limitantes do processo. Na Europa, há incentivos para compra de energia que utiliza fontes renováveis, viabilizando a digestão anaeróbia de resíduos e de culturas energéticas para produção de biometano (Xue et al., 2020). Já no Brasil, apenas com o aumento do preço da energia elétrica e do custo de disposição de resíduos sólidos, as empresas passaram a buscar alternativas mais econômicas para tratamento e disposição dos seus resíduos. Além disso, companhias de água e esgoto em todo o Brasil passaram a considerar o tratamento anaeróbio dos efluentes e do lodo gerado nas estações como forma de reduzir os custos do sistema e ainda ter a possibilidade de saldo energético positivo.

Em 2020, o Brasil possuía 548 plantas de biogás em operação, produzindo $2,3 \times 10^9$ m³/ano de biogás, conforme mostrado no mapa da Figura 1 (CIBiogás, 2020). Em sua grande maioria, o biogás é gerado a partir de resíduos da agroindústria das regiões Sul e Sudeste. Em 2019, o Brasil produziu cerca de 800×10^6 toneladas de resíduos orgânicos, incluindo os rejeitos municipais, agrossilvopastoris e industriais (Brasil, 2019), que poderiam ser usados para produção de energia renovável, via digestão anaeróbia, com potência instalada na ordem de 85 GW. A Tabela 1 mostra o potencial de produção de metano (PPM) de alguns resíduos agroindustriais.



Figura 1. Mapa com a localização das plantas de biogás no Brasil em operação em 2020. Adaptado de <https://mapbiogas.cibiogas.org/>.

Tabela 1. Potencial de produção de metano (PPM) e potencial energético (PE) que podem ser obtidos de alguns resíduos orgânicos agroindustriais.

Substrato	PPM (LCH ₄ /kgSV)	PE (kWh/kgSV)*	Referência
Frutas e vegetais	420	4,19	(Bouallagui et al., 2005)
Restos de alimentos (cozinhas)	530	5,29	(Zhang et al., 2014)
Resíduos domiciliares	350	3,49	(Ferrer et al., 2011)
Esterco de gado	184	1,83	(Merlin; Boileau, 2013)
Esterco de frango	259	2,58	(Merlin; Boileau, 2013)
Esterco suíno	326 577	3,25-5,75	(Amaral et al., 2016)

* Cálculo baseado no poder calorífico do metano = 35,9 MJ/Nm³.

Os principais tipos de estações de tratamento de resíduos orgânicos instaladas no Brasil são lagoas anaeróbias (Figura 2A), usadas principalmente para esterco e para esgotos domésticos; reatores contínuos de mistura completa (CSTR – *Completed Stirred Tank Reactor*) (Figura 2B), usados para resíduos orgânicos sólidos; reatores anaeróbicos de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) (Figura 2C) para efluentes líquidos (municipal ou industrial); e aterros sanitários para resíduos urbanos (Figura 2D).

**Figura 2.** Imagens dos principais reatores anaeróbios usados para produção de biogás no Brasil. A: Lagoas anaeróbias, Concórdia, PR; B: CSTR, Rio de Janeiro, RJ; C: UASB Cagece, Quixadá, CE; D: Aterro sanitário, Fortaleza/Caucaia, CE.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma breve revisão sobre as tecnologias para produção de biogás usadas no Brasil e propor uma alternativa de sistema de reatores anaeróbios para tratamento dos resíduos orgânicos de centrais de abastecimento de hortifrutigranjeiros. A solução proposta pode maximizar a produção de biogás, aumentar a flexibilidade e robustez do processo e, ao mesmo tempo, reduzir os custos de investimentos.

Resíduos de atacadistas de hortifrutigranjeiros como substrato para produção de biogás

Uma alternativa mais sustentável para destinação dos resíduos de alimentos, como frutas, verduras e legumes (RFV) descartados em “packing houses” e Centrais de Abastecimentos (Ceasas) é o uso da digestão anaeróbia para produção de biogás (energia) e fertilizante (composto orgânico). Estima-se que aproximadamente um terço de todos os produtos hortícolas em todo o mundo seja descartado em forma de perdas e desperdícios (FAO, 2019; Yahia et al., 2019). De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), esse material orgânico pode chegar a $1,3 \times 10^9$ toneladas por ano (FAO, 2019). O Brasil não tem dados precisos sobre a quantidade de resíduos orgânicos provenientes de perdas e desperdício de alimentos, mas há estimativa que esse valor possa ser da ordem de 42% da produção total de alimentos no Brasil, sendo que as “packing houses” e Ceasas são os principais geradores (Dal’ Magro; Talamini, 2019).

Resíduos de frutas e verduras são altamente fermentescíveis, o que, em princípio, é um indicativo de sua viabilidade como substrato para produção de biogás. No entanto, algumas características dificultam a digestão anaeróbia. A relação carbono/nitrogênio (C/N) elevada (maior do que 1:30) e pH 4 podem induzir a acidificação do sistema (Ji et al., 2017), inibindo a metanização e, por consequência, a produção de biogás. Uma boa configuração de reatores e uma boa estratégia de operação (balanceamento dos tipos de resíduos a serem digeridos, controle da carga orgânica aplicada e adição de nutrientes e alcalinizantes) podem solucionar esse problema (Bouallagui et al., 2005).

Sistema apropriado para produção de biogás a partir de resíduos de frutas e verduras

Embora diferentes tipos de configurações de reatores tenham sido testados com sucesso para digestão anaeróbia de RFV, na prática, os reatores CSTR são os mais empregados para esse tipo de substrato. Esse reator pode ser dimensionado para funcionar como único reator biológico, onde todas as etapas da digestão anaeróbia ocorrem simultaneamente dentro dele, ou em forma de um sistema de dois ou mais reatores, visando principalmente separar as etapas de hidrólise e acidogênica da etapa metanogênica. A digestão anaeróbia de RFV em um único reator implica manter a carga orgânica aplicada limitada à etapa de metanogênese para evitar acidificação do sistema. Em um sistema de dois reatores em série, as etapas de hidrólise e acidogênese acontecem no primeiro reator, que pode ser operado com maior carga orgânica. No segundo reator, a metanogênese ocorre de forma mais controlada. Isso aumenta a robustez e a flexibilidade do sistema, mas implica um maior volume total e número de reatores, o que aumenta o custo de investimento e o custo operacional (André et al., 2018).

Devido às características do RFV, uma possível alternativa para a sua digestão anaeróbia é o uso de reatores anaeróbicos de alta taxa, otimizados para tipos distintos de substratos, separando aqueles com alto teor de sólidos suspensos totais (SST) daqueles com menor SST. Isso significa que a digestão anaeróbia de RFV exigiria mais de um reator de alta taxa em paralelo e algum tipo de pré-tratamento para a separação dos substratos. Como reatores de alta taxa são operados com carga orgânica volumétrica (COV) elevada, o Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) total é menor do que os de reatores CSTR comumente usados, com consequente redução do volume total, o que reduz custos de investimentos, embora os custos de operação possam ser mais elevados. Reatores UASB já são bem conhecidos para tratamento de resíduos líquidos concentrados, sendo operados com COV elevada ($\sim 10 \text{ kgDQO/m}^3 \cdot \text{d}$) (Gao et al., 2020; Leitão et al., 2009,

2005). No entanto, reatores anaeróbicos para operação com alto teor de sólidos suspensos totais não são comuns no Brasil. A digestão anaeróbia no estado sólido, ou metanização seca, tem sido usada na Europa com diferentes configurações de reatores (André et al., 2018), mas no Brasil apenas um reator foi iniciado em 2019 no Rio de Janeiro (Ornelas-Ferreira et al., 2020).

Metanização seca

O termo “metanização seca” ou “digestão anaeróbia em estado sólido” é empregado para a digestão anaeróbia de material orgânico com concentração de sólidos suspensos totais superior a 20% (Kothari et al., 2014). Algumas plantas de biogás que são alimentadas com resíduos agroindustriais, culturas energéticas, resíduos agrícolas, restos de poda e jardins, e/ou da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, e que não fazem diluição do substrato com água, enquadram-se nessa classificação.

A metanização seca de resíduos orgânicos já está sendo utilizada principalmente na Europa com diferentes processos (André et al., 2018). Em 2015, a Europa possuía aproximadamente 3×10^6 toneladas de resíduos orgânicos por ano de capacidade instalada em plantas de metanização seca, equivalente a 35% de todo o resíduo sólido tratado anaerobiamente (Charlottenburg; Rosenheim, 2015). No Brasil, existe apenas uma planta-piloto de metanização seca, com capacidade de 11×10^3 t por ano, inaugurada em 2019 no Rio de Janeiro (Ornelas-Ferreira et al., 2020). Essa planta-piloto utiliza um reator de batelada do tipo garagem com recirculação e metanização do lixiviado, resultando na produção volumétrica de metano de aproximadamente $0,6 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{m}^3\text{.d}$.

A metanização seca pode ser realizada em reatores contínuos de alta taxa, como Dranco e Valorga, podendo atingir produção volumétrica de metano em torno de 2,8 a $4,4 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{m}^3\text{.d}$ (De Lacos et al., 1997; Six; De Baere, 1992), o que implica menor custo de investimento. Por outro lado, o substrato deve ser melhor selecionado e receber pré-tratamento adequado, como é o caso de indústrias de alimentos, Ceasas e “packing houses”. Embora reatores anaeróbios contínuos de alta taxa já sejam empregados na Europa, há falta de dados confiáveis na literatura científica. Os dados de dimensionamento e operação parecem superestimar a eficiência de conversão da matéria orgânica e subestimar os problemas operacionais. Alguns aspectos necessitam de esclarecimento, como, por exemplo, as estratégias de pré-tratamento e controle da mistura de substratos para manutenção da relação carbono/nitrogênio; estratégia de manutenção da umidade ótima dentro do reator para evitar estratificação do leito; estratégia de aumento e controle da COV, de forma a atingir eficiência de metanização e produção volumétrica de biogás elevadas sem causar acidificação; estratégia e controle da alcalinidade e inibição por amônia e ácidos graxos voláteis; dentre outros aspectos (Braguglia et al., 2018; Xu et al., 2018).

Várias tecnologias foram desenvolvidas visando à metanização seca de resíduos sólidos, sendo as principais:

- 1) Reatores contínuos de fluxo descendente com mistura do substrato com o digestato em unidade fora do reator (sistema Dranco – Six; De Baere, 1992).
- 2) Reatores contínuos de fluxo vertical em pistão com mistura promovida por insuflação do biogás (sistema Valorga – De Lacos et al., 1997).
- 3) Reatores contínuos de fluxo horizontal com mistura mecânica (sistema Kompogas – Wellinger et al., 1993).
- 4) Reatores contínuos tubulares de fluxo horizontal, tipo plug-flow sem mistura mecânica (sacos tubulares de polietileno ou lagoas de estabilização - An et al., 1997).
- 5) Reatores em batelada tipo garagem, com recirculação do lixiviado, associado ou não a um outro reator para tratamento da fase líquida (André et al., 2018).

O sistema pode ser formado por reatores em batelada, com variações relacionadas com recirculação de lixiviado, forma de alimentação, combinados ou não com outros reatores acidogênicos, ou de metanização da

fase líquida, com ou sem imersão parcial da fase sólida, e diferentes tipos de mistura mecanizada (André et al., 2018; Braguglia et al., 2018). Os reatores também podem ser classificados quanto ao número de estágios, visando à separação das etapas da digestão anaeróbia (Ren et al., 2018). O processo pode ocorrer em temperaturas entre 30 °C e 40 °C (mesofílica) ou entre 50 °C e 60 °C (termofílica) (Ren et al. 2018).

Considerações finais

Os RFV têm uma concentração total de sólidos na faixa de 6 a 10% (Bouallagui et al., 2005; Ji et al., 2017; Viswanath et al., 1992), o que limita o uso desses substratos em reatores de metanização seca. No entanto, existe a possibilidade de um pré-tratamento (trituração e prensagem visando à separação de parte da fração líquida, ajustando a concentração de SST na fração sólida para perto de 30%). A fração líquida resultante, ainda com concentrações relativamente elevadas de sólidos em suspensão e substâncias dissolvidas, pode ser tratada em um reator mais adequado para esse tipo de substrato, como um reator UASB. Assim, um sistema híbrido composto por um reator de metanização seca em paralelo a um reator UASB maximizaria o potencial de ambos os reatores, que podem ser operados no COV mais alta possível, aumentando a flexibilidade do sistema e reduzindo os custos de operação com o digestato.

Na Figura 3, apresenta-se uma possível configuração de um sistema para digestão anaeróbia de RFV. Os resíduos são primeiramente triturados e prensados para separação das fases com maior e menor teor de sólidos suspensos totais. A fase com menor teor de SST (fase líquida) é digerida em um reator UASB; já a fase com maior SST é digerida em um reator de metanização seca. O biogás produzido em ambos os reatores é armazenado para posterior tratamento e uso na produção de energia (processo não incluído no esquema). Os lodos anaeróbios digeridos em ambos os reatores (digestato) passam por um processo para concentração dos sólidos totais (prensagem) que são armazenados para posterior compostagem e uso como fertilizante. Os efluentes líquidos do reator UASB e dos processos de prensagem precisam de um pós-tratamento aeróbio antes da destinação final, o que pode ser feito em uma estação de tratamento de efluentes existente. No caso do reator de metanização seca, uma parte do digestato volta para uma mistura prévia com o substrato, a uma taxa de 1:8 (substrato:digestato), visando uma melhor inoculação e mistura.

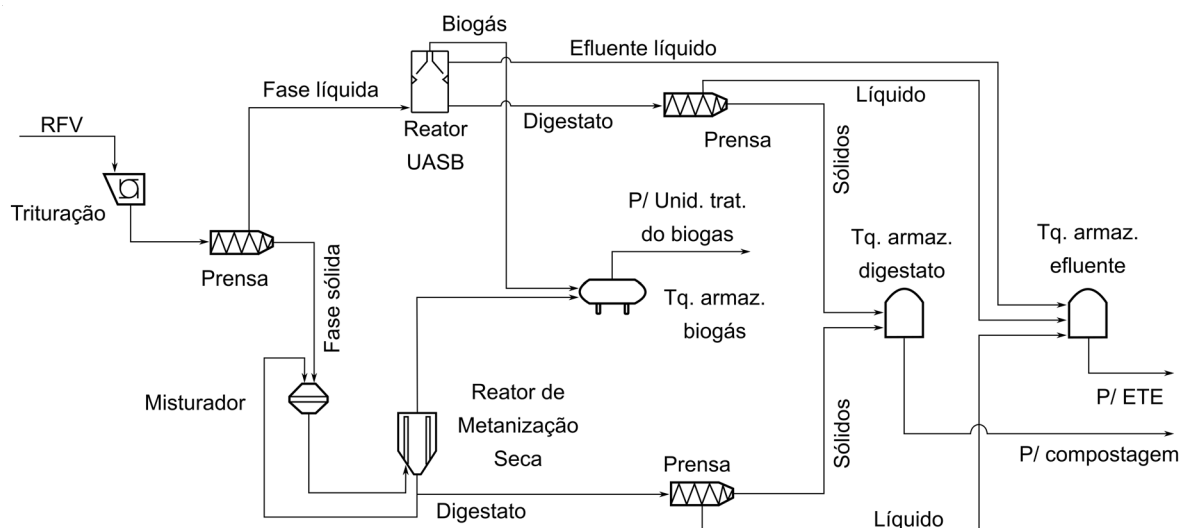


Figura 3. Configuração de um sistema híbrido (Reator de Metanização Seca + UASB) para produção de biogás a partir de resíduos de frutas, verduras e legumes.

Realizou-se uma simulação preliminar de aplicação desse sistema híbrido para os resíduos da CEASA-CE. Esta central de abastecimento gera aproximadamente 20 toneladas por dia de resíduos de frutas, legumes e verduras, que podem ser convertidos diariamente em 650 m³ de biogás por dia, com cerca de 60% de metano. Esse biogás pode ser usado para gerar 3.750 kWh por dia de energia elétrica e ainda 1,6 tonelada por dia de fertilizante orgânico. A economia na disposição final de resíduos, somada à economia de energia elétrica usando o biogás em grupos motogeradores nos horários de ponta, assim como a renda obtida da venda de adubo, podem viabilizar economicamente o projeto. Estudos avançados sobre todos os aspectos operacionais desse sistema proposto estão sendo realizados na Embrapa Agroindústria Tropical visando obter dados para simulação do aumento de escala e estudo de viabilidade econômica e ambiental.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária pelos recursos financeiros advindos do projeto SEG nº 10.19.03.011.00.00; à Companhia de Abastecimento do Estado do Ceará por suas contribuições ao projeto supramencionado; e ao CNPq pelos recursos financeiros advindos do processo nº 308807/2017-0.

Referências

- AMARAL, A. C.; KUNZ, A.; RADIS STEINMETZ, R. L.; SCUSSIATO, L. A.; TÁPPARO, D. C.; GASPARETO, T. C. Influence of solid-liquid separation strategy on biogas yield from a stratified swine production system. **Journal of Environmental Management**, v. 168, p. 229-235, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.014>.
- AN, B. X.; PRESTON, T. R.; DOLBERG, F. The introduction of low-cost polyethylene tube biodigesters on small scale farms in Vietnam. **Livestock Research for Rural Development**, v. 9, p. 1-10, 1997.
- ANDRÉ, L.; PAUSS, A.; RIBEIRO, T. Solid anaerobic digestion: State-of-art, scientific and technological hurdles. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 1027-1037, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.003>.
- BOUALLAGUI, H.; TOUHAMI, Y.; BEN CHEIKH, R.; HAMDY, M. Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. **Process Biochemistry**, v. 40, p. 989-995, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.03.007>.
- BRAGUGLIA, C. M.; GALLIPOLI, A.; GIANICO, A.; PAGLIACCIA, P. Anaerobic bioconversion of food waste into energy: A critical review. **Bioresource Technology**. Amsterdam: Elsevier, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.145>.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Gestão de Resíduos Orgânicos**. Brasília, DF, 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2012.
- CHARLOTTENBURG, A.; ROSENHEIM, H. **Anaerobic digestion** - Fact sheet. Berlin, 2015.
- CHEONG, J. C.; LEE, J. T. E.; LIM, J. W.; SONG, S.; TAN, J. K. N.; CHIAM, Z. Y.; YAP, K. Y.; LIM, E. Y.; ZHANG, J.; TAN, H. T. W.; TONG, Y. W. Closing the food waste loop: Food waste anaerobic digestate as fertilizer for the cultivation of the leafy vegetable, xiao bai cai (*Brassica rapa*). **Science of Total Environment**, v. 715, p. 136789, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136789>.
- CIBIOGÁS, 2020. **Panorama do Biogás no Brasil em 2019**. Foz do Iguaçu, 2019. Nota Técnica CIBiogás-ER.
- DAL' MAGRO, G. P.; TALAMINI, E. Estimating the magnitude of the food loss and waste generated in Brazil. **Waste Management & Research**, v. 37, p. 706-716, 2019. <https://doi.org/10.1177/0734242X19836710>.

De LACLOS, H. F.; DESBOIS, S.; SAINT-JOLY, C. Anaerobic digestion of municipal solid organic waste: Valorga full-scale plant in tilburg, The Netherlands. **Water Science and Technology**, v. 36, p. 457-462, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00555-6](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00555-6).

FAO. **Global food losses and food waste** – Extent, causes and prevention, Food Loss and Food Waste: Causes and Solutions. Rome, 2019.

FERRER, I.; GARFÍ, M.; UGGETTI, E.; FERRER-MARTÍ, L.; CALDERON, A.; VELO, E. Biogas production in low-cost household digesters at the Peruvian Andes. **Biomass and Bioenergy** v. 35, p. 1668-1674, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.036>.

GAO, M.; ZHANG, L.; LIU, Y. High-loading food waste and blackwater anaerobic co-digestion: Maximizing bioenergy recovery. **Chemical Engineering Jobs**, v. 394, p. 124911, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124911>.

JI, C.; KONG, C.-X.; MEI, Z.-L.; LI, J. A review of the anaerobic digestion of fruit and vegetable waste. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 183, p. 906-922, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12010-017-2472-x>.

KOTHARI, R.; PANDEY, A. K.; KUMAR, S.; TYAGI, V. V.; TYAGI, S. K. Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An over. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 174-195, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.011>.

LEITÃO, R. C.; ARAÚJO, A. M.; FREITAS-NETO, M. A.; ROSA, M. F.; SANTAELLA, S. T. Anaerobic treatment of coconut husk liquor for biogas production. **Water Science and Technology**, v. 59, p. 1841-1846, 2009. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.187>.

LEITÃO, R. C.; SILVA FILHO, J. de A.; SANDERS, W.; VAN HAANDEL, A. C.; ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. The effect of operational conditions on the performance of UASB reactors for domestic wastewater treatment. **Water Science and Technology**, v. 52, p. 299-305, 2005. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.628>.

MERLIN, G.; BOILEAU, H. Anaerobic digestion of agricultural waste: State of the art and future trend. In: **Anaerobic Digestion: Types, Processes and Environmental Impact**. New York: Nova Science Publishers, 2013. p. 29.

ORNELAS-FERREIRA, B.; LOBATO, L. C. S.; COLTURATO, L. F. D.; TORRES, E. O.; POMBO, L. M.; PUJATTI, F. J. P.; ARAÚJO, J. C.; CHERNICHARO, C. A. L. Strategies for energy recovery and gains associated with the implementation of a solid state batch methanization system for treating organic waste from the city of Rio de Janeiro - Brazil. **Renew. Energy**, v. 146, p. 1976-1983, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.049>.

REN, Y.; YU, M.; WU, C.; WANG, Q.; GAO, M.; HUANG, Q.; LIU, Y. A comprehensive review on food waste anaerobic digestion: Research updates and tendencies. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 1069-1076, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.109>.

SIX, W.; De BAERE, L. Dry anaerobic conversion of municipal solid waste by means of the Dranco process. **Water Science and Technology**, v. 25, p. 295-300, 1992. <https://doi.org/10.2166/wst.1992.0161>.

VISWANATH, P.; DEVI, S. S.; NAND, K. Anaerobic digestion of fruit and vegetable processing wastes for biogas production. **Bioresource Technology**, v. 40, p. 43-48, 1992. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(92\)90117-G](https://doi.org/10.1016/0960-8524(92)90117-G).

WELLINGER, A.; WYDER, K.; METZLER, A. E. Kompogas - A new system for the anaerobic treatment of source separated waste. **Water Science and Technology**, v. 27, p. 153-158, 1993. <https://doi.org/10.2166/wst.1993.0095>.

XU, F.; LI, YANGYANG; GE, X.; YANG, L.; LI, YEBO. Anaerobic digestion of food waste – Challenges and opportunities. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 1047-1058, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.020>.

XUE, S.; SONG, J.; WANG, X.; SHANG, Z.; SHENG, C.; LI, C.; ZHU, Y.; LIU, J. A systematic comparison of biogas development and related policies between China and Europe and corresponding insights. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 117, p. 109474, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109474>.

YAHIA, E. M.; FONSECA, J. M.; KITINOJA, L. Postharvest losses and waste. In: **Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities**. Amsterdam: Elsevier, 2019. p. 43-69. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813276-0.00002-X>.

ZHANG, C.; SU, H.; BAEYENS, J.; TAN, T. Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 38, p. 383-392, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.038>.



Agroindústria Tropical



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL