

**ESTUDO COMPARATIVO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO
RESÍDUOS ALIMENTARES E RESÍDUOS VERDES**

Joyce Meneses da Silva Jaeger, Fernanda de Marco de Souza, Ednilson Viana

*Universidade de São Paulo, joyce_jaeger@usp.br

RESUMO

Os resíduos sólidos urbanos brasileiros apresentam uma elevada fração de resíduos orgânicos ultrapassando os 50%, sendo que apenas 4% passam pelo processo de valorização. Os principais resíduos orgânicos gerados nas áreas urbanas do Brasil são os resíduos alimentares e os resíduos verdes. Diversos métodos de valorização podem ser empregados, dentre eles merece destaque a digestão anaeróbia (DA), por gerar subprodutos úteis como o biogás. A co-digestão consiste na digestão anaeróbia de dois ou mais substratos conjuntamente, permitindo maior estabilidade nas etapas de digestão e maior geração de biogás. O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o potencial de geração de biogás dos resíduos alimentares (RA) sozinhos (mono digestão) e comparar com a geração da co-digestão com resíduos verdes (RV). Os experimentos e procedimentos realizados se basearam nas normas técnicas alemã DIN 38 414 (S8) e VDI 4630. Os substratos utilizados foram os resíduos orgânicos provenientes de sobras alimentares residenciais e aparas de grama verde da EACH. O inóculo utilizado foi retirado de um digestor anaeróbio em funcionamento. O substrato e o inóculo foram caracterizados do ponto de vista físico-químico para sólidos totais, fixos e voláteis, aferição do pH e temperatura. Os ensaios tiveram duração de 21 dias e foram desenvolvidos em duas repetições, sendo que cada repetição foi composta de três amostras. A redução de sólidos totais observadas para a co-digestão, passou de 40% para 6% e a redução de sólidos voláteis foi de 89,16%. Com base na análise de redução da quantidade de sólidos totais e voláteis observada na massa de resíduos orgânicos em estudo, assim como na geração de biogás obtida, percebeu-se que a co-digestão apresentou uma digestão mais efetiva dos resíduos orgânicos e uma produção de biogás bem mais acentuada. Isso demonstra que a poda de grama quando associada com os resíduos orgânicos alimentares representa uma importante alternativa para a valorização da fração orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos é um importante substrato, pela disponibilidade gratuita e facilidade de obtenção no espaço urbano.

PALAVRAS-CHAVE: Palavras-chave: digestão anaeróbica, co-digestão, resíduo alimentar, resíduo verde, biogás.

ABSTRACT

The Brazilian municipal solid waste show a high elevated fraction of organic waste surpassing 50%, being that only 4% get through valorization process. The main organic waste generated in urban areas of Brazil are food waste and green waste. Several methods of valorization can be employed, among then one that deserves special mention is anaerobic digestion (AD), for it generates usefull byproducts such as biogas. The co-digestion consisting of anaerobic digestion of two or more substrates together, allowing more stability in digestion steps and more biogas generation. The current work has aimed to evaluate the biogas potential generation from food waste alone (mono digestion) and compare with the co-digestion generation with green waste. The experiments and procedures performed are based on German technics DIN 38 414 (S8) and VDI 4630. The substrate and the inoculum were characterized from the physic-chemical point of view for total solids, fixed and volatile, pH admeasurement and temperature. The tests had a 21 days' duration and were being developed in two replicates, each one composed by three samples. The total solid reduction observed for the co-digestion, went from 40% to 6% and the reduction of volatile solid was from 89,16%. Based on the analysis of total and volatile solids reduction observed in the mass of organic residues under study, as well as in the generation of biogas obtained, that co-digestion showed a more effective digestion of organic waste and much more accentuated biogas production. That shows the pruning of grass when associated with organic food waste represents an important alternative for the valorization of the organic fraction present in the solid urban waste and an important substrate, by free availability and easy to obtain in urban space.

KEY WORDS: Anaerobic digestion, co-digestion, food waste, Green waste, biogas.



ATENÇÃO: A área que está sombreada (em amarelo) é a que poderá ser livremente editada pelo autor do trabalho. Isto é para proteger o cabeçalho e o rodapé de eventuais deformações. Posteriormente, a Comissão Organizadora retirará este sombreado e transformará o texto em arquivo PDF.

INTRODUÇÃO

A fração de resíduos orgânicos presentes nos resíduos sólidos urbanos brasileiros é elevada e ultrapassa os 50% (SNIS, 2014; ABRELPE, 2014). Por outro lado, a grande maioria destes resíduos orgânicos é muito pouco valorizada (aproximadamente 4% - SNIS, 2014), sendo que no Brasil grande parte destes são destinados aos métodos de disposição no solo como aterros sanitários, aterros controlados e lixões o que descreve um modelo de gestão que preza pelo desperdício de matéria prima.

Dentre os resíduos orgânicos gerados nos domicílios, a presente pesquisa dá ênfase aos resíduos alimentares (RA) e aos resíduos verdes (RV), provenientes de podas de vegetação (praças, jardins, parques, entre outros). Buscar formas de valorização desses resíduos é essencial, uma vez que eles são gerados em grandes quantidades quando considerado o espaço urbano e ainda podem provocar problemas ambientais e de saúde pública.

Dentre os diversos métodos de valorização de resíduos orgânicos existentes, destaca-se a digestão anaeróbia (DA), uma vez que gera subprodutos úteis como o biogás e o digerido com potencial de uso para biofertilização (VERMA, 2002). A DA, por sua vez, é um processo de degradação microbiológico da matéria orgânica na ausência de oxigênio, gerando como produto final gases (metano, gás carbônico, gás sulfídrico e água sob a forma de vapor) e matéria orgânica digerida. Dentre estes gases, o metano é gerado em maior quantidade (60-70%), seguido do gás carbônico (30-40%) (KWIETNIEWSKA, 2014).

A decomposição da matéria orgânica por meio da digestão anaeróbica é realizada por bactérias anaeróbicas facultativas – tolerantes ao oxigênio – e anaeróbicas estritas, na ausência de oxigênio, por meio de um processo que converte a matéria orgânica em gás carbônico, metano, amônia e outros compostos. A digestão se inicia com a glicose, que por meio da ação de enzimas é transformada em gás carbônico, metano e energia, sendo realizada por bactérias hidrolíticas, fermentativas, acetogênicas e metanogênicas. A digestão anaeróbica ocorre por meio do encadeamento de reações químicas interdependentes, divididas em duas fases: fase de liquefação por meio da hidrólise e a fase de gaseificação dos produtos solúveis decorrentes da hidrólise dos compostos orgânicos complexos. (NUNES, 2012).

O processo de digestão anaeróbia depende de diversos parâmetros referentes às características dos substratos e condições em que ocorre a digestão. Fazem parte destes parâmetros o pH, umidade, sólidos voláteis, sólidos totais, composição nutricional carbono/nitrogênio (C/N) e a temperatura. O equilíbrio destes parâmetros é essencial para que o processo ocorra de forma adequada, especialmente com relação ao pH, temperatura e nutrientes. A composição química do substrato fornece nutrientes para as populações microbianas (como nitrogênio, enxofre, fósforo, ferro entre outros) (NUNES, 2012; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015; ARSOVA, 2010).

A temperatura influencia na atividade enzimática das bactérias, cuja faixa ótima de atuação está entre 20 e 45°C – digestão mesofílica. A digestão anaeróbica psicofílica ocorre em temperaturas menores que 20°C (com maior tempo para a reação e menor geração de biogás) e a termofílica entre 45 e 70°C (com menor tempo para reação e que exige maior controle durante o processo).

O pH possui influência sobre o crescimento das bactérias, onde as etapas da digestão implicam em diferentes valores de pH ideal (LUKS, 1999 apud ARSOVA, 2010). Durante a ação das bactérias acidogênicas o meio sofre uma redução, ficando próximo a 5,0. Durante a ação das bactérias metanogênicas ele fica entre 6,3 e 7,8 – aproximando-se da neutralidade (pH = 7,0), uma vez que as bactérias metanogênicas possuem seu crescimento e produção de metano interrompidos em ambiente ácido. Sendo assim, o pH desempenha um papel fundamental no rendimento da, ao influir sobre a atividade das bactérias metanogênicas e condicionando também a produção de biogás no sistema. (NUNES, 2012; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015; ARSOVA, 2010).

Do ponto de vista do uso dos substratos, o processo de DA pode ser classificado em mono-substrato (apenas um) e co-substrato (dois ou mais - co-digestão). A digestão de mono-substrato é chamada de mono-digestão e de co-substratos, co-digestão.

A co-digestão consiste na digestão anaeróbia de dois ou mais substratos conjuntamente, permitindo maior estabilidade nas etapas de digestão e maior geração de biogás, pois potencializa a mistura de substratos e intensifica a capacidade de



neutralização de ácidos – resultantes de alta atividade da acidogênese. Os substratos podem ser resíduos biológicos de animais, resíduos alimentares provenientes de restaurantes, cantinas, mercados, resíduos orgânicos industriais além dos chamados resíduos verdes (NUNES, 2012; ARSOVA, 2010).

De acordo com o teor de sólidos presentes nos resíduos orgânicos, a DA pode ser classificada em úmida, onde o teor de sólidos totais é menor que 15% e seca (com alto teor de sólidos, acima de 15%), (YANG et al., 2015; ZHU et al., 2014). A escolha do método a ser adotado depende das características do substrato e o destino final do material tratado.

No Brasil o tipo de DA mais utilizada é a digestão seca, pois os resíduos sólidos urbanos não são habitualmente separados do orgânico. Já a digestão úmida ocorre quando há separação dos resíduos orgânicos dos demais, permitindo que o material digerido seja higienizado, apresentando maior taxa de produção de biogás, maior estabilidade no processo. Neste caso o digerido pode ser utilizado na agricultura. A escolha do método a ser adotado depende das características do substrato e o destino final do material tratado (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015; ARSOVA, 2010; VERMA, 2002).

OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o potencial de geração de biogás dos resíduos alimentares sozinhos (mono digestão) e em co-digestão com resíduos verdes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os substratos usados nos ensaios em escala de bancada;
- Comparar a produção bruta de biogás dos resíduos sólidos orgânicos alimentares com e sem co-digestão com resíduos verdes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos e procedimentos realizados se basearam nas normas técnicas alemãs DIN 38 414 (S8) e VDI 4630, porém com as devidas adaptações as condições do laboratório e objetivo da pesquisa.

O conjunto eudiômetro (Figura 1) utilizado foi da marca FGG, com bureta eudiômetro de volume 500 ml e tubo interno de 30 mm, graduado em escala de 1 ml, com válvula stop flow. Cada bureta possui certificado de calibração RBC, além de Certificado de Estandarização. O frasco reator é de 1000 ml, com junta esmerilhada que conecta no tubo eudiômetro.

O frasco reservatório possui 500 ml, com saída para mangueira do tipo oliva. O tubo eudiômetro é preenchido com líquido selante, buscando-se evitar a solubilização do dióxido de carbono presente no biogás e, deste modo, medir com maior precisão a quantidade de gás gerado (NORMA VDI 4630).

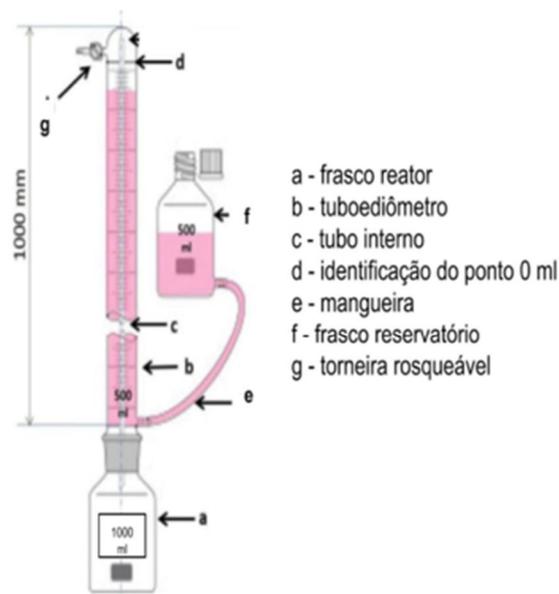


Figura 1: Equipamento conjunto eudiômetro. Fonte: adaptado de Lima (2016).

Os tratamentos laboratoriais da presente pesquisa foram desenvolvidos no Centro de Valorização de Resíduos Orgânicos da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP). Para avaliar o substrato (resíduo orgânico proveniente de sobras alimentares e poda de grama) e o inóculo utilizado para acelerar o início da digestão anaeróbia, foram realizadas as seguintes análises físico-químicas: sólidos totais, fixos e voláteis, aferição do pH e temperatura. Fez-se necessário a análise do substrato e do inóculo para determinação da proporção de substrato e inóculo colocado nos conjuntos reatores.

Os substratos utilizados foram o resíduo orgânico proveniente de sobras alimentares residenciais e aparas de grama proveniente do campus. O inóculo utilizado foi retirado de um digestor anaeróbio em funcionamento na comunidade M'Boi Mirim, zona sul de São Paulo. O substrato e o inóculo foram caracterizados do ponto de vista físico-químico para sólidos totais, fixos e voláteis, aferição do pH e temperatura.

A umidade dos resíduos alimentares utilizados, resíduos verdes e inóculo foram obtidas pelo método de secagem em estufa a 105°C, segundo metodologia descrita por APHA (1998) apud Sagula (2012). Para tanto, foi utilizada uma amostra de 30g de substrato, 30 ml de inóculo medido em proveta de 50 ml (que corresponde a aproximadamente 29,582 gramas), e 10g de resíduos verdes sendo três tratamentos com três repetições, totalizando nove amostras.

Depois de atingir o peso constante - para determinar quando isso ocorreu, as amostras foram pesadas diariamente até que o peso não variasse mais - os tratamentos (cadinho mais amostra) foram pesados novamente em balança milesimal, anotado os valores e feitos os cálculos da umidade. Para o cálculo da umidade foi feito o cálculo do peso final da amostra, obtido pela subtração entre o peso do cadinho e da amostra após passagem pela estufa. Este peso final é então denominado Pf (peso final). Com base nos valores mencionados de peso inicial e final, a umidade em porcentagem foi calculada pela equação 1:

$$U = \frac{Pf - Pi}{Pi} \times 100 \quad \text{equação (1)}$$

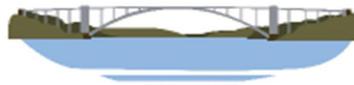
Onde,

U = umidade;

Pf = peso final após secagem em estufa;

Pi = peso inicial da amostra, anterior à secagem.

A análise de sólidos refere-se aos sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis feita para todos os ensaios. Os sólidos totais presentes no resíduo alimentar, inóculo e resíduos verdes, são denominados de acordo com suas características químicas, sendo classificados como orgânicos ou inorgânicos. Quando os sólidos são submetidos a uma temperatura de 550°C (calcinação), a fração orgânica é volatilizada (passa do estado sólido para o gasoso) e permanece a fração inorgânica. A fração volatilizada, dá-se o nome de "Sólidos Voláteis", que representam a matéria orgânica, e a fração inorgânica, de Sólidos Fixos ou Inertes, que representam os minerais ou matéria inorgânica (SPERLING, 2014, p. 21).



Os Sólidos Fixos (SF) representam a fração dos ST que permanece como cinzas após a calcinação da amostra à temperatura de $550 \pm 50^\circ\text{C}$ por 2 horas que leva a evaporação dos sólidos voláteis. Após este período, os cadinhos foram retirados da mufla e seguiram para o dessecador de vidro com sílica até o resfriamento, para impedir as amostras de absorver umidade do ambiente. Após o resfriamento os cadinhos foram pesados em balança milesimal, o valor que corresponde aos sólidos fixos. Para o cálculo dos sólidos voláteis utilizou-se a equação 2:

$$SV = ST - SF \quad \text{equação (2)}$$

Onde,

SV = sólidos voláteis (gramas);

ST = sólidos totais (gramas);

SF = sólidos fixos (gramas).

A temperatura dos frascos reagentes foi aferida diariamente na mesma faixa horária durante a realização do segundo ensaio utilizando termômetro infravermelho digital com mira a laser da Incoterm Scantemp St-500.

O pH das amostras utilizadas nos conjuntos foi aferido no início do ensaio e quando necessário corrigido, para acima de 6,2, que é mencionado na literatura como sendo o adequado. O pH também foi aferido no final do ensaio. As leituras foram feitas em pHmetro de bancada modelo SP3630-45 da marca Hipperquímica.

Na presente pesquisa foi utilizado os pré-tratamentos físico e químico. Os substratos provenientes de restos alimentares foram triturados em liquidificador, enquanto os resíduos verdes provenientes da poda do campus foram picados com tesoura a fim de aumentar a superfície de contato e acelerar as reações químicas da digestão anaeróbia. Utilizou-se de um liquidificador da marca Black&Decker. Os resíduos foram triturados sucessivamente até se obter uma consistência pastosa (Figura 2).



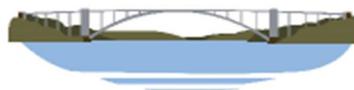
Figura 2: Foto da mistura inserida nos reatores. Fonte: Autor do Trabalho

Os ensaios tiveram duração de 21 dias e foram realizados em triplicata, correspondendo a 2 grupos de triplicatas. As três amostras do tratamento 1 continham inóculo 338 ml de inóculo e 150 g de resíduos alimentares, já o tratamento 2 continham três amostras compostas de 75g de resíduos orgânicos alimentares e 75g de resíduos verdes (poda de grama) na proporção 1:1, e 338 ml de inóculo, tendo em vista que os resíduos orgânicos possuem cerca de 0,1533 g de SV/g de amostra e o inóculo cerca de 0,0017 g de SV/g de amostra.

A geração de biogás foi avaliada por meio dos resultados da produção acumulada no período de duração do ensaio (aferida diariamente nos conjuntos) e a comparação entre as reduções dos sólidos (totais e voláteis) entre os substratos e digerido.

RESULTADOS

Após 21 dias de experimento, o tratamento 1 que continha cerca de 16,52% de ST e 92,82% de SV iniciais, apresentou uma redução significativa de sólidos voláteis (72,92%). Porém, ao se analisar de maneira mais profunda os resultados



obtidos, verificou-se uma quantidade elevada de SV por grama de ST da amostra de digerido, onde a média para as três amostras foi em torno de 73,49%. Deste modo, os valores encontrados estão próximos às médias que se verifica na literatura e indicando que houve uma digestão eficiente.

Visto que o tratamento 2 se utilizou de 75 g de cada substrato (proporção 1: 1), a quantidade integral de sólidos totais da mistura é de aproximadamente 40%. Apesar de possuir uma maior quantidade de sólidos (cerca de 2,5 vezes mais) se comparado ao tratamento 1 (que tinha o dobro de resíduos orgânicos e nenhuma grama), a quantidade final de ST foi próxima ao que se constatou no tratamento citado (8% para o digerido). Isto já sugere que ocorreu efetiva degradação da matéria orgânica presente nos substratos. A redução média de sólidos totais observada para o tratamento 2 foi de 40% no substrato para 6% no digerido. Ao se analisar os valores absolutos de redução para o tratamento 2, ainda que visível a redução na quantidade de sólidos voláteis, as amostras selecionadas dos digeridos apresentam uma relevante quantidade de SV por grama de ST, contudo, mesmo com relevante porcentagem de SV em relação aos ST, ao se analisar os valores absolutos de redução, verifica-se que a digestão foi efetiva, proporcionando uma redução de cerca de 89,16% de sólidos voláteis.

Observou-se que a geração de biogás das amostras C4, C5 e C6 (Tratamento 2), foi superior à C1, C2 e C3 (Tratamento 1, com resíduo alimentar e inóculo) (Figura 3), o que está em conformidade com a redução dos sólidos encontradas evidenciando que a associação com a poda de grama de fato permite uma melhoria considerável no rendimento de biogás. Nota-se que a produção de biogás apresenta forte relação com a redução dos sólidos encontrados, onde os maiores valores de biogás foram registrados nas mesmas amostras que apresentaram maiores reduções de ST e SV.

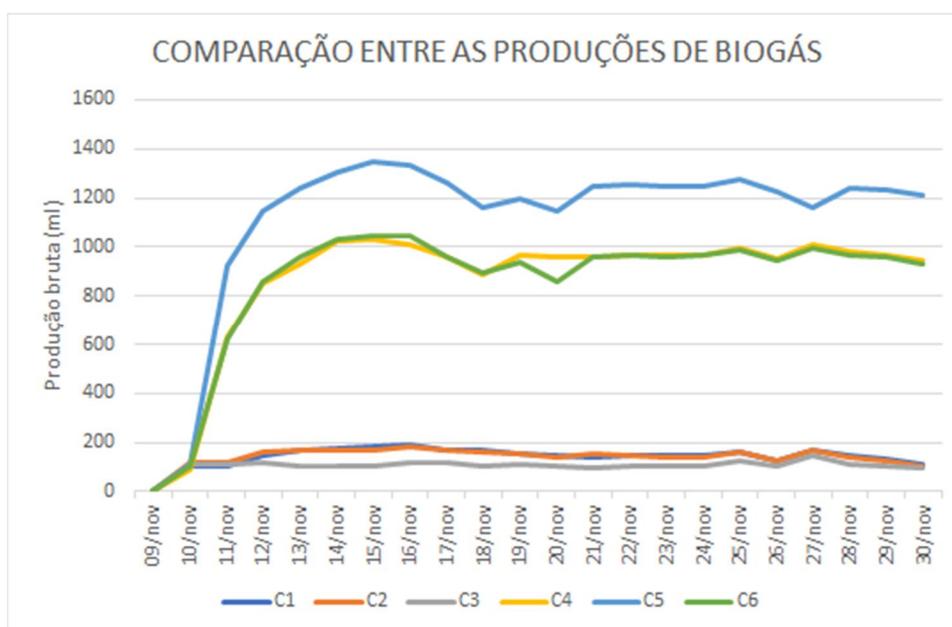


Figura 3: comparando produção de biogás da mono-digestão e co-digestão. Fonte: elaboração própria.

A associação dos resíduos verdes promoveu um aumento na quantidade de biogás produzido, o que não está diretamente relacionado a proporção de metano presente em tal biogás. De acordo com Chen et. al. (2014) ao se analisar o biogás produzido a partir dos resíduos alimentares e a sua associação com resíduos verdes, observou-se que embora a quantidade líquida de biogás produzida na co-digestão fosse maior, dependendo da proporção RA/RV adotada, a quantidade de metano era baixa quando comparada a digestão dos resíduos alimentares em mono-digestão, sendo que o ótimo de produção de metano foi encontrado na proporção de 40:60 (RA/RV).

Os pH das misturas foram corrigidos para a criação de condições favoráveis ao desenvolvimento da metanogênese. Porém, como observado por Pereira (2013), durante a correção das amostras que continham resíduos verdes apresentavam mais resistência à alteração do pH, indicando o elevado potencial deste tipo de resíduo para liberar para o meio ácidos orgânicos. Ainda assim os valores iniciais, após a correção do pH, se mantiveram na faixa considerada ótima (7,5 Tratamento 1 e 8,3 tratamento 2). Finalizado o ensaio, verificou-se propriedades muito ácidas (3,73 Tratamento 1 e 5,15 tratamento 2), o que pode ter relação com uma co-digestão incompleta com a acumulação de ácidos graxos, servindo estes como inibidores da digestão - impedindo assim uma maior produção de biogás (tendo em vista que as bactérias metanogênicas necessitam de um pH próximo à neutralidade para agir).



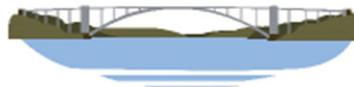
Porém, ainda assim o tratamento 2 realizada com a co-digestão apresentou valores de geração superiores aos da mono-digestão, corroborando a hipótese de que a co-digestão dos resíduos alimentares com os resíduos verdes apresentam grande potencial de geração quando comparada à mono-digestão.

CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que a produção de biogás na co-digestão foi superior à obtida na mono digestão. Além disso, a redução dos sólidos totais e voláteis da massa de resíduos orgânicos na co-digestão foi significativa, indicando esse importante caminho para o processo de digestão anaeróbia dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Isso demonstra que a poda de grama, quando associada aos resíduos orgânicos alimentares representa uma importante alternativa para a valorização da fração orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos e um importante substrato, pela disponibilidade gratuita e facilidade de obtenção no espaço urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARSOVA, L. **Anaerobic digestion of food waste: Current status, problems and an alternative product**, 2010. Disponível em: <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/arsova_thesis.pdf>. Acesso em: 16 Dez 2016.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAS (ABRELPE). **Resíduos sólidos: manual de boas práticas no planejamento**, 2014. Disponível em: <<http://a3p.jbrj.gov.br/pdf/ABRELPE%20Manual%20BOAS%20PRATICAS%202013.pdf>>. Acesso em: 25 Nov. 2018.
3. CHEN, X. et al. Comparison of high-solids to liquid anaerobic co-digestion of food waste and green waste. **Bioresource Technology**, v. 154, p. 215-221, fev. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852413018944>> Acesso em: 20 Mar. 2019.
4. DIN 38414-8:1985 – German standard methods for the examination of water, waste water and sludge; sludge and sediments (group S); determination of the amenability to anaerobic digestion (S 8).
5. KWIETNIEWSKA, E.; TYS, J. Process characteristics, inhibition factors and methane yields of anaerobic digestion process, with particular focus on microalgal biomass fermentation. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 34, p. 491–500, 2014.
6. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Tecnologias de digestão anaeróbica com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás**. 2015. Disponível em: <<https://www.giz.de/en/downloads/probiogas-tecnologias-biogas.pdf>>. Acesso em: 15 dez 2016.
7. NUNES, J. A. **Tratamento biológico de águas residuárias**. 3. ed. Aracajú: J. Andrade, 2012. 277 p.
8. PEREIRA, Ana Isabel Castro. **Co-digestão anaeróbia de resíduos verdes e lamas de ETAR para produção de biogás**. 2013. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrônoma, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: <<https://run.unl.pt/handle/10362/10659>>. Acesso em: 15 mar. 2019.
9. SAGULA, A. L. **Biodigestão anaeróbia de cama de frango em co-digestão com caldo de cana-de-açúcar**. 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2012.



10. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (SNIS). **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2011. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2013. 2634 p.
11. _____. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2012. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2014. 143 p.
12. VERMA, S. **Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes**, 2002. Disponível em: <[http://www.compost.org/CCC Science Web Site/pdf/Biogas/anaerobic%20Digestion%20of%20Biodegradable%20Organics%20in%20MSW.pdf](http://www.compost.org/CCC_Science_Web_Site/pdf/Biogas/anaerobic%20Digestion%20of%20Biodegradable%20Organics%20in%20MSW.pdf)>. Acesso em: 20 Mar 2019.
13. VDI 4630:2006 – VDI-Standard: VDI 4630 Fermentation of organic materials – Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests.
14. YANG, L. et al. Challenges and strategies for solid-state anaerobic digestion of lignocellulosic biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 824-834, abr. 2015.
15. ZHU, J. et al. Solid-state anaerobic co-digestion of hay and soybean processing waste for biogas production. **Bioresource technology**, v. 154, p. 240-247, fev. 2014.