**ANÁLISE QUALI QUANTITATIVA DO DIGERIDO PROVENIENTE DA CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS ALIMENTARES E GRAMA**

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

*Universidade de São Paulo, fernanda.marco.souza@usp.br/fernandadm@gmail.com.

RESUMO

A digestão anaeróbia configura-se como uma promissora tecnologia de tratamento de resíduos orgânicos e pode ser realizada por meio da mono ou co-digestão. Inserida neste contexto, a co-digestão de resíduos alimentares e grama possui alto potencial de utilização, devido à complementariedade dos substratos e elevada disponibilidade destes nos resíduos sólidos gerados. Ao se analisar o digerido, um dos produtos da digestão, é possível verificar a eficiência da remoção orgânica dos substratos e avaliar o tratamento da matéria orgânica; para tal verificação é preciso que se caracterize a quantidade de sólidos (totais e voláteis) presente na massa digerida. Outro parâmetro importante de ser avaliado é o pH, que pode apontar possíveis inibições durante o processo. Com base nisso, o presente trabalho teve como objetivo analisar o digerido proveniente da co-digestão anaeróbia de resíduos alimentares e grama, em uma escala de bancada, com foco no teor de sólidos e pH. Para tal, foram utilizados digestores de um litro mantidos sob temperatura constante na faixa mesofílica (entre 34 e 38°C) durante 21 dias. Para a co-digestão, adotou-se uma proporção de 2:1 de resíduos alimentares em relação à grama em um volume total de 500 ml. Como resultados, verificou-se que os valores dos parâmetros analisados, tanto dos substratos quanto do digerido, estão consistentes e embasados pela literatura (15,18% ± 1,49% e 92,81% ± 0,39% de sólidos totais e voláteis para os resíduos alimentares; 34,62% ± 3,82% e 90,56% ± 0,94% para a grama; 9,35 ± 1,06 e 87,09 ± 2,22 para o digerido). A remoção orgânica foi de 45%, indicando que a digestão poderia ter sido mais efetiva. Além disso, o digerido apresentou um pH ácido de 3,94 ± 0,20. Isso indica que durante a digestão houve elevada geração de ácidos orgânicos, decorrentes da alta carga orgânica ou da maior digestibilidade dos resíduos alimentares frente a grama, que inibiram uma digestão completa. Portanto, é necessário que se apliquem meios para tamponamento do pH, a fim de aumentar a efetividade da digestão, e que pesquisas futuras sejam realizadas para avaliar outros parâmetros importantes ao uso do digerido, consolidando rumos à uma gestão mais sustentável dos resíduos orgânicos.

PALAVRAS-CHAVE: Co-digestão anaeróbia, digerido, resíduos alimentares, grama, sólidos voláteis.

ABSTRACT

Anaerobic digestion is a promising technology treatment of organic wastes and can occur by mono or co-digestion. In this context, co-digestion of food waste and grass have high potential of use because of the complementarity of substrates and great availability in the generated solid waste. When analyzing the digestate, it is possible to verify the efficiency of the organic removal of the substrates and to evaluate the treatment of the organic matter. For this assessment, it is necessary to characterize the amount of solids (total and volatile) present in the digested mass. Another important parameter to be evaluated is pH, which may point out possible inhibitions during the process. Based on this, the present work aimed to analyze the digesting from anaerobic co-digestion of food waste and grass, on a bench scale, focusing on solids content and pH. For this, one-liter digesters kept under constant temperature in the mesophilic range (between 34 and 38 ° C) were used for 21 days. For co-digestion, a 2: 1 ratio of food waste to grass in a total volume of 500 ml was adopted. Our results pointed out that the values of the parameters analyzed of both the substrates and the digested are consistent and supported by the literature (15,18% ± 1,49% and 92,81% ± 0,39% of total solids and volatile for food waste, 34.62% ± 3.82% and 90.56% ± 0.94% for the grass, 9.35 ± 1.06 and 87.09 ± 2.22 for the digestate). The organic removal was 45%, indicating that digestion could have been more effective. In addition, the digestate had an acidic pH of 3.94 ± 0.20. This indicates that during digestion there was a high generation of organic acids due to the high organic load or the greater digestibility of the food residues against the grass, which inhibited a complete digestion. Therefore, it is necessary to apply pH buffering agents in order to increase the effectiveness of the digestion. It is suggested that future research should be carried out to evaluate other important parameters to the use of the digestate, consolidating directions for a more sustainable management of the organic waste.

KEY WORDS: Anaerobic co-digestion, digestate, food waste, grass, volatile solids



INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil, tem-se um cenário em que 94% dos resíduos sólidos gerados são destinados à métodos de disposição final em solo (aterros sanitários, aterros controlados ou mesmo lixões). Destes resíduos, mais de 50% em peso correspondem à matéria orgânica (SNS, 2019). Tal panorama é contrário à ordem de prioridades para gestão e gerenciamento de resíduos, estabelecida pelo art. 9º da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) – de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos – e ainda configura um elevado desperdício de matéria orgânica, que poderia passar por processos de valorização e tratamento. Dado este contexto e com fins à uma gestão mais sustentável dos resíduos, é que se insere a proposição da digestão anaeróbia como uma tecnologia de tratamento da fração orgânica.

A digestão anaeróbia é um processo de degradação microbiológica da matéria orgânica na ausência de oxigênio, no qual diversas comunidades microbianas interagem em meio a um encadeamento de reações químicas interdependentes, gerando como produtos finais o biogás (composto principalmente por metano, seguido de dióxido de carbono) e matéria orgânica digerida – o digerido (CYSNEIROS, 2011; SILVA et al., 2018). A digestão anaeróbia destaca-se em meio aos outros métodos de tratamento dos resíduos orgânicos por possuir vantagens adicionais, como: baixos custos operacionais e de manutenção, não requerer grandes espaços, reduzir odores e patógenos, e a possibilidade de co-digerir diversos substratos em um único reator (KOUPAIE et al., 2019).

A co-digestão é a digestão de dois ou mais substratos de uma única vez. Ela é utilizada quando se objetiva equilibrar nutrientes (relação carbono/nitrogênio, macro e micronutrientes) e aumentar a produtividade de metano (ZHU et al., 2014). Dentro deste contexto, tem-se que os resíduos de alimentos e quintais – como a grama – possuem alta complementariedade (BROWN & LI, 2013).

Além das vantagens supracitadas, os principais benefícios da digestão anaeróbia se manifestam nos seus produtos: o biogás, uma fonte de energia renovável e limpa (com potencial de ser utilizado para geração de eletricidade e calor) e o digerido, que pode ser utilizado como biofertilizante devido suas características nutricionais.

Ao se analisar o digerido por meio de parâmetros pré-estabelecidos, pode-se inferir a respeito da eficiência da digestão anaeróbia e seu papel no tratamento da matéria orgânica. O teor de sólidos, por exemplo, é o principal parâmetro quando se discute sobre a remoção da carga orgânica, uma vez que ele mede a quantidade de materiais sólidos presentes na massa de resíduos em degradação – valor dado pelo teor de sólidos totais, que se dividem em fixos e voláteis. Os sólidos voláteis medem a quantidade de matéria orgânica não degradada (que está disponível para ser biodegradada pelos microrganismos) e os sólidos fixos, a matéria inorgânica (YANG et al., 2015). Portanto, ao se analisar a quantidade de sólidos voláteis anterior e posterior à digestão, tem-se uma métrica do quão eficaz foi a redução da carga orgânica.

Além dos sólidos, outro parâmetro importante é o pH, que possui influência no crescimento e desempenho dos microrganismos que realizam o processo de digestão. Seu baixo valor pode afetar a metanogênese (fase responsável pela geração do gás metano, que exige um pH entre 6,3 e 7,8) e, deste modo, interromper a digestão, prejudicando a qualidade do digerido final (MCIDADES, 2015).

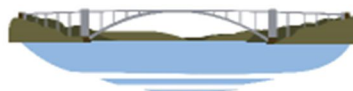
Portanto, dada as vantagens da co-digestão, a potencialidade da complementariedade de resíduos verdes e alimentares e a importância de se analisar o digerido com fins à indicação da eficiência do tratamento da fração orgânica, é que se insere o objetivo central da presente comunicação.

OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar quali e quantitativamente o digerido proveniente da co-digestão anaeróbia de resíduos alimentares e grama, na escala de bancada, com foco na análise dos parâmetros de teor de sólidos e pH.

Como **objetivos específicos** citam-se:

- Aferir a quantidade de sólidos totais e voláteis dos substratos (resíduos alimentares e da grama) e digerido após 21 dias de digestão;
- Verificar a eficiência da remoção orgânica dos sólidos do digerido em relação aos substratos.



METODOLOGIA

Em conformidade com a norma técnica DIN 38 414 (S8), o processo de digestão anaeróbia desenvolvido neste trabalho teve a duração de 21 dias. A digestão se deu sob escala de bancada, ou seja, ocorreu em frascos reatores de 1 litro cada, acoplados à tubos eudiômetros, vidrarias específicas para leitura da quantidade de biogás gerado. Manteve-se uma temperatura controlada, na faixa mesofílica (entre 34°C e 38°C), por meio da utilização de um termostato e aquário de vidro.

Com respeito à co-digestão, adotou-se uma proporção de 2:1 de resíduos alimentares em relação à grama em um volume total de 500 ml; portanto, utilizou-se 333 ml de resíduos para 166 ml de grama, em um sistema com alto teor de sólidos (acima de 15% de sólidos totais). Como inóculo para acelerar o início da digestão, utilizou-se o lodo de um reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) de uma estação de tratamento de esgoto. Os resíduos alimentares foram triturados em liquidificador com o objetivo de aumentar a superfície de contato das partículas e acelerar o processo de digestão.

Antes e depois da digestão realizou-se testes de sólidos com amostras dos substratos e digerido. Para aferir os sólidos totais da amostra (fixos e voláteis), empregou-se o método padrão da American Water Works Association (APHA, 2005). Os testes foram realizados em triplicata para obtenção da média dos resultados e redução dos erros estatísticos envolvidos na seleção da amostra.

A quantia de sólidos totais (complementar à umidade da amostra) foi obtida após secagem em estufa a 105°C até atingir peso constante – o que ocorre após 3 dias, aproximadamente. O peso final obtido diz respeito à massa de sólidos totais presentes na amostra. Em relação à obtenção dos sólidos voláteis, é necessário que ocorra a calcinação. Para tanto, foi preciso que a amostra seca em estufa anteriormente fosse levada ao forno mufla por 550°C durante um período de duas horas. Após este período, tem-se a evaporação dos sólidos voláteis, permanecendo nas capsulas somente os sólidos fixos (inorgânicos). Através da subtração dos sólidos totais pelos fixos, tem-se o teor de sólidos voláteis.

Por fim, com relação ao pH, também se aferiu antes e após a digestão através da utilização de um pHmetro de bancada modelo SP3630-45 da marca hipperquímica. A fim de facilitar o processo de digestão, corrigiu-se o pH da mistura de grama e resíduos alimentares para próximo à neutralidade (7,0) através da utilização de hidróxido de magnésia.

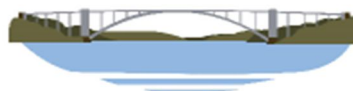
RESULTADOS

Inicialmente, verificou-se o teor de sólidos dos substratos. A quantidade de sólidos totais e voláteis dos resíduos alimentares ficou na faixa de 15,18% e 92,81% (relativo à quantia de sólidos totais), respectivamente. Tais valores vão de encontro com a literatura, que indica entre 15-20% de sólidos totais e 85-95% de sólidos voláteis (MCIDADES, 2015; KAWAI et al., 2014). Com relação à grama, os valores verificados foram de 34,62% de sólidos totais e 90,56 de voláteis, o que está próximo do obtido por Andriamanohiarisoamana et al. (2017) e Brown et al. (2012).

Passada a co-digestão anaeróbia, observou-se uma redução na quantidade de sólidos (como se espera) devido à biodegradação da fração orgânica (Figura 1). Estes reduziram de 15,70% para 9,35% em relação aos sólidos totais (ST) e de 92,74% para 87,09% de voláteis (SV). Tais valores estão dentro do que se indica na literatura, onde os digeridos apresentam de 3 a 12% de sólidos totais (SCHIEVANO et al., 2008).



Figura 1: Redução na porcentagem de sólidos totais após a co-digestão
Fonte: os autores.



Além disso, considerando-se os valores absolutos de sólidos voláteis, pode-se obter a eficiência da remoção orgânica (que indica o quão efetivo foi o tratamento através da digestão anaeróbia), como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Eficiência de remoção orgânica

Fonte: os autores.

Sólidos Totais (g/g de amostra)				Sólidos Voláteis (g/g de amostra)			
ST _i	ST _f	Redução (g)	Redução (%)	SV _i	SV _f	Redução (g)	Redução (%)
0,157	0,0935	0,0635	40,45	0,1534	0,0837	0,0697	45,44

Onde, ST_i e SV_i correspondem aos sólidos totais e voláteis iniciais e ST_f e SV_f aos finais.

Deste modo, a eficiência de remoção de sólidos totais ficou em torno de 40%. Observa-se que a degradação da matéria orgânica poderia ter sido mais efetiva, tendo em vista que pouco menos da metade daquilo que poderia ser biometanizado, foi de fato volatilizado (cerca de 45,5%). Tal fato é evidenciado pela quantidade de SV por grama de ST remanescente no final da digestão. Na Tabela 2 é possível visualizar uma síntese dos resultados verificados para os parâmetros dos substratos e digerido da co-digestão.

Tabela 2 - Características dos substratos e digerido

Fonte: os autores.

Parâmetro	Resíduo orgânico	Grama	Proporção 2:1 (co-digestão)	Digerido
ST (%)	15,18 ± 1,49	34,62 ± 3,82	15,70	9,35 ± 1,06
SV (%ST)	92,81 ± 0,39	90,56 ± 0,94	92,74	87,09 ± 2,22
pH	4,81 ± 0,42	-	7,08 ± 0,40	3,94 ± 0,20

Tal fenômeno poder ter correlação com o pH ácido verificado no digerido no final do processo de digestão, com uma média de 3,94; sendo este bem inferior ao que se espera para o pH da massa digerida, que se situa próximo à neutralidade (7,5), conforme indica uma extensão revisão realizada por Beggio et al. (2019).

Este valor pode ser atribuído ao acúmulo de ácido orgânicos durante a digestão. No decorrer da digestão anaeróbia, os compostos orgânicos complexos são convertidos em ácidos voláteis, os quais são transformados em ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio e estes, por fim, em metano e gás carbônico (LI; CHEN; WU, 2019).

O acúmulo de ácidos é inibidor ao processo de digestão anaeróbia e pode ter sido decorrente da alta carga de sólidos, com a qual operaram os digestores em escala de bancada (acima de 15%). A alta carga pode propiciar uma rápida reprodução das bactérias no estágio inicial da digestão, aumentando o quanto se produz de ácidos (ZHANG et al., 2014). Outro possível fator que elevou a quantidade de ácidos nos digestores é a maior digestibilidade dos restos de alimentos se comparados aos resíduos lignocelulósicos (grama), o que acarreta em uma elevada produção de ácidos graxos voláteis (CHEN et al., 2014).

Deste modo, a verificação de um pH ácido no digerido também indica que a quantidade de biogás gerada não foi a mais efetiva, resultando numa menor geração de biogás por grama de sólidos voláteis.

CONCLUSÕES

Com os testes realizados, é possível inferir que a co-digestão entre os resíduos alimentares e grama avaliados neste estudo apresenta um importante potencial de utilização de duas matérias primas abundantes nos resíduos sólidos. O digerido produzido pela co-digestão apresentou uma remoção de carga orgânica na faixa de 50%, mas poderia ter ido além, exigindo para tanto, o controle de outros parâmetros para se aproveitar o grande potencial de degradação dessa mistura.

O acúmulo de ácidos graxos orgânicos pode ter sido um fator limitante e inibidor da digestão anaeróbia. O acúmulo desses ácidos pode ser explicado pela operação do sistema em uma faixa com alto teor de sólidos (acima de 15%) e pela maior digestibilidade dos resíduos alimentares em comparação com a grama. Uma maior redução de SV, indica uma maior geração de biogás. Deste modo, faz-se necessária a aplicação de meios para controle e tamponamento do pH a fim de facilitar o processo de digestão, e, consequentemente aumentar a efetividade da digestão e a diminuição na quantidade de sólidos totais e voláteis.



É importante destacar, ainda, que o uso do digerido como biofertilizante se apresenta como uma alternativa sustentável à fertilização dos solos, tendo em vista que reduz os impactos ambientais causados pela produção e aplicação dos adubos químicos, indicando que pesquisas que busquem a melhor produção deste produto no processo de valorização de resíduos orgânicos (principalmente considerando uma análise mais abrangente de parâmetros) possuem grande importância na construção de uma gestão mais sustentável dos resíduos orgânicos gerados em diferentes contextos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRIAMANOHARIISOAMANANA, F. J. et al. High-solids anaerobic mono-digestion of riverbank grass under thermophilic conditions. **Journal of Environmental Sciences**, v. 52, p. 29 – 38, fev. 2017.
2. APHA; AWWA; WEF – Water Environmental Federation; AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA, 2005.
3. BEGGIO, G. et al. Statistical analysis for the quality assessment of digestates from separately collected organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) and agro-industrial feedstock. Should input feedstock to anaerobic digestion determine the legal status of digestate? **Waste Management**, v. 87, p. 546-558, mar. 2019.
4. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 03 ago. 2010. Seção 1, p. 3.
5. BROWN, D. et al. Comparison of solid-state to liquid anaerobic digestion of lignocellulosic feedstocks for biogas production. **Bioresource Technology** v. 124, p. 379-386, nov. 2012
6. BROWN, D.; LI, Y. Solid state anaerobic co-digestion of yard waste and food waste for biogas production. **Bioresource Technology**, v. 127, p. 275-280, jan. 2013.
7. 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.
8. CYSNEIROS, D. et al. The role of phase separation and feed cycle length in leach beds coupled to methanogenic reactors for digestion of a solid substrate (Part 2): hydrolysis, acidification and methanogenesis in a two-phase system. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 16, p. 7393-7400, 2011.
9. DEUTSCHE NORM. **DIN 38414-8**: 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). 1985.
10. KAWAI, M. et al. The effect of the labile organic fraction in food waste and the substrate/inoculum ratio on anaerobic digestion for a reliable methane yield. **Bioresource Technology**, v. 157, n.11, p. 174-180, abr. 2014.
11. KOUPAIE, E. H. et al. Comparison of liquid and dewatered digestate as inoculum for anaerobic digestion of organic solid wastes. **Waste Management**, p. 228-236, mar. 2019.
12. LI, Y.; CHEN, Y.; WU, J. Enhancement of methane production in anaerobic digestion process: A review. **Applied Energy**, v. 240, p.120-137, abr. 2019.
13. MINISTÉRIO DAS CIDADES (MCIDADES). **O estado da arte da tecnologia de metanização seca**. 2015a. Disponível em: <<https://www.giz.de/en/downloads/probiogas-metanizacao-rsu.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2018.
14. SCHIEVANO, A. et al. Predicting anaerobic biogasification potential of ingestates and digestates of a full-scale biogas plant using chemical and biological parameters. **Tecnologia Bioresource**, v. 99, n. 17, p. 8112-8117, nov. 2008.
15. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO (SNS). **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2017**. Brasília: MDR.SNS, 2019.



16. SILVA, C. et al. Biochemical methane potential (BMP) tests: Reducing test time by early parameter estimation. **Waste Management**, n. 71, p.19-24, jan. 2018.
17. VERDI, L. et al. Does the use of digestate to replace mineral fertilizers have less emissions of N₂O and NH₃? **Agricultural and Forest Meteorology Volumes 269–270, 15 May 2019, Pages 112-118**, v. 270, p.112-118, mar. 2019.
18. 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.
19. ZHANG, C. et al. Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 38, n.11, p. 383-392, out. 2014.
20. 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.