

OBTENÇÃO DE BIOGÁS EM REATOR EM BATELADA A PARTIR DA CO-DIGESTÃO DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E DEJETOS DE SUINOCULTURA

Geovanna Damacena da Silva Galdino¹, Franciele Pereira Camargo^{2†}, Camila Abreu B. Silva Rabelo³, Maria Bernadete Amâncio Varesche⁴

1: Graduanda do Curso de Engenharia Ambiental, EESC-USP.

2: Pós-doutoranda no Instituto de Pesquisa em Bioenergia (IPBEN), UNESP. *In memoriam*.

3: Pós-doutoranda no Laboratório de Processos Biológicos (LPB), EESC-USP.

4: Professora do Departamento de Hidráulica e Saneamento, EESC-USP.

RESUMO

A co-digestão de dejetos de suinocultura com bagaço de cana-de-açúcar (BCA), dois resíduos agroindustriais gerados em grandes quantidades no Brasil, pode ser considerada uma alternativa para as condições de digestão anaeróbia. O objetivo da presente pesquisa foi avaliar as condições ótimas para obtenção de metabólitos de valor agregado (metano, ácidos orgânicos e álcoois), a partir da co-digestão de BCA e dejetos suíno. Para tanto, foi utilizado o método estatístico de Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) para determinação das melhores condições experimentais de temperatura (25-55 °C) e proporção de co-substratos (BCA e esterco suíno, 0-50% BCA), com análise das respostas de produção máxima de biogás (P), velocidade máxima de produção (Rm) e tempo de início de produção (λ). Assim, constatou-se maior P (423,93 mL gST.L⁻¹) em experimento com baixa concentração de BCA (1,72g.L⁻¹). Em relação a λ , observou-se redução significativa no valor de λ (de 171.7h para 8h) com adição de BCA no processo. A adição de BCA também foi favorável para aumento de Rm (de 2,53 para 357.41 mmol CH₄.h⁻¹). Assim, pode-se enfatizar a importância da co-digestão para o aumento da velocidade do processo em geral, uma vez que o tempo de início da produção de biogás é desejável para o escalonamento do processo

Palavras-chave: Lignocelulose; Biogás; Digestão anaeróbia.

ABSTRACT

The co-digestion of pig manure with sugar cane bagasse (SCB), two agro-industrial wastes generated in large quantities in Brazil, can be considered an alternative to anaerobic digestion conditions. The aim of this research was to evaluate the optimum conditions for obtaining value-added metabolites (methane, organic acids and alcohols) from the co-digestion of BCA and pig manure. To this end, the Central Composite Rotational Design (CCRD) statistical method was used to determine the best experimental conditions for temperature (25-55 °C)



and proportion of co-substrates (BCA and pig manure, 0-50% BCA), with analysis of the responses of maximum biogas production (P), maximum production speed (Rm) and production start time (λ). The highest P (423.93 mL gST.L⁻¹) was found in the experiment with a low BCA concentration (1.72g.L⁻¹). With regard to λ , there was a significant reduction in the value of λ (from 171.7h to 8h) with the addition of BCA to the process. The addition of BCA was also favorable for increasing Rm (from 2.53 to 357.41 mmol CH₄.h⁻¹). Thus, the importance of co-digestion for increasing the speed of the process in general can be emphasized, since the start time of biogas production is desirable for scaling up the process.

Keywords: Lignocellulose; Biogas; Anaerobic digestion.

INTRODUÇÃO

No Brasil, são produzidos anualmente 3,75 milhões de toneladas de carne de porco, sendo considerado o quarto maior produtor mundial (ANTONELI *et al.*, 2019). Porém, o manejo dos dejetos de suíno produzido em fazendas destinadas à suinocultura é um dos principais obstáculos na expansão desta indústria (ANTONELI *et al.*, 2019). Apesar da existência de alternativas ao seu reuso, sua aplicação em processos de digestão anaeróbia é pouco explorada, especialmente no que diz respeito à co-digestão com demais resíduos orgânicos. No entanto, devido às suas características intrínsecas, como baixo teor de carbono e elevada alcalinidade, recomenda-se o uso de substratos adicionais, especialmente os tipicamente carbonáceos com alto teor orgânico (CARDONA *et al.*, 2019).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com milhões de toneladas produzidas anualmente. O excedente de BCA não utilizado, pode ser destinado para outros fins, como na digestão anaeróbia, sendo uma solução *environmental-friendly* para o manejo de resíduos lignocelulósicos e concomitante recuperação de energia (RABELO *et al.*, 2018.).

Embora haja diversos relatos sobre como a co-digestão de resíduos orgânicos e dejetos favorece a produção de biogás (SAAD; RAHMAN; YUSOFF, 2019), poucos exploram como diferentes proporções de substratos na co-digestão podem influenciar as condições ideais desse processo. Apesar dos efeitos sinérgicos da co-digestão que possibilitam um aumento na produção de metano, é importante ressaltar que a superdosagem de um determinado co-substrato pode levar à inibição metabólica. (MASIH-DAS; TAO, 2018).

Assim, nesta pesquisa avaliou-se as condições ótimas para obtenção de metabólitos de valor agregado (metano, ácidos orgânicos, álcoois) a partir da co-digestão em reatores em



bateladas de BCA e dejetos de suíno. As variáveis operacionais de temperatura e proporção de co-substratos foram avaliadas via Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

METODOLOGIA

Foram avaliados os efeitos da temperatura (25-55 °C) e proporção de BCA (0-50%). Os ensaios foram realizados em reatores em batelada, em condições de agitação (150 rpm), em frascos Duran[®] vedados com tampa de butila e rosca plástica, com 50% de *headspace*, submetido ao N₂/CO₂ (70/30%) por 20 minutos.

Tabela 1. Condições mínimas (-1), máximas (+1), axiais ($\pm\alpha$) e do ponto central (0) para as variáveis estudadas (x_1 - x_2).

Variável	Níveis				
	- α	-1	0	+1	+ α
x_1 Temperatura (°C)	18,79	25	40	55	61,21
x_2 Proporção BCA (%)	1,72	10	30	50	58,28

Amostras de aproximadamente 1000 μ L do *headspace* dos reatores foram coletadas periodicamente, a cada 24h, até a estabilização da produção de biogás, para analisar a sua composição, utilizando cromatógrafo de gás Shimadzu[®] (GC-2010). Além da realização da determinação de sólidos de Sólidos Totais e Voláteis (ST e STV), pH, compostos fenólicos totais e Demanda Química de Oxigênio (DQO), que foram monitorados de acordo com APHA/AWWA/WEF (2012) e, a determinação de carboidratos totais segundo DUBOIS et al. (1956).

Por fim os dados foram ajustados para valores médios obtidos, e os dados de produção acumulada de biogás foram obtidos a partir do modelo cinético sigmoidal de Gompertz modificado por Zwieterin et al. (1994), sendo que os parâmetros foram calculados por meio da Equação 1 no *software* OriginPro 9.0 e Statistica.

$$Y(t) = P. \exp \exp \left\{ - \exp \left(\frac{Rm.e}{P} [\lambda - t] + 1 \right) \right\} \quad (Eq. 1)$$

sendo,

Y(t)= razão logarítmica entre a contagem microbiana no tempo t e a contagem inicial,

Rm= velocidade específica máxima de crescimento (mL CH₄ g⁻¹ ST_{add} .h⁻¹),

e= constante de Euler (2,71828182)

λ = tempo de início da produção de biogás (h),



P = produção máxima de biogás ($\text{mL CH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ ST}_{\text{add}}$).

RESULTADOS & DISCUSSÕES

O DCCR foi realizado de acordo com a matriz experimental resumida na Tabela 2. Foram avaliadas duas variáveis independentes sendo X_1 = temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e X_2 = concentração de BCA (g.L^{-1}), para as quais três respostas foram avaliadas: Y_1 = $\text{mL CH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ ST}_{\text{add}}$ (P), Y_2 = $\text{mL CH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ ST}_{\text{add}} \cdot \text{h}^{-1}$ (Rm) e Y_3 = tempo necessário para início da produção de CH_4 (λ).

Tabela 2: Variáveis independentes (X_1 e X_2) e respostas (Y_1 , Y_2 e Y_3) obtidas para os ensaios de DCCR.

Ensaio	X_1		X_2		Y_1	Y_2	Y_3	R^2
R1	-1,00	25,00	-1,00	10,00	45,11	15,07	1,99	0,87
R2	1,00	55,00	-1,00	10,00	361,88	144,42	5,51	0,93
R3	-1,00	25,00	1,00	50,00	10,45	2,07	0,32	0,98
R4	1,00	55,00	1,00	50,00	192,39	12,21	2,89	0,94
R5	-1,41	18,79	0,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,99
R6	1,41	61,21	0,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,99
R7	0,00	40,00	-1,41	1,72	423,93	498,97	8,00	0,97
R8	0,00	40,00	1,41	58,28	78,00	17,80	0,22	0,75
R9	0,00	40,00	0,00	30,00	188,32	357,41	2,80	0,90
R10	0,00	40,00	0,00	30,00	201,41	141,03	7,87	0,91
R11	0,00	40,00	0,00	30,00	190,59	290,82	8,00	0,92
Controle*	-	37,00	-	-	571,91	2,53	171,72	0,98

Nota: O experimento controle foi conduzido apenas com inóculo e dejetos de suínos.

Por meio da análise de Y_3 , observou-se redução significativa do tempo necessário para o início da produção de CH_4 (λ), variando entre 0,22h a 8h, quando comparado com o ensaio controle (171,72h).

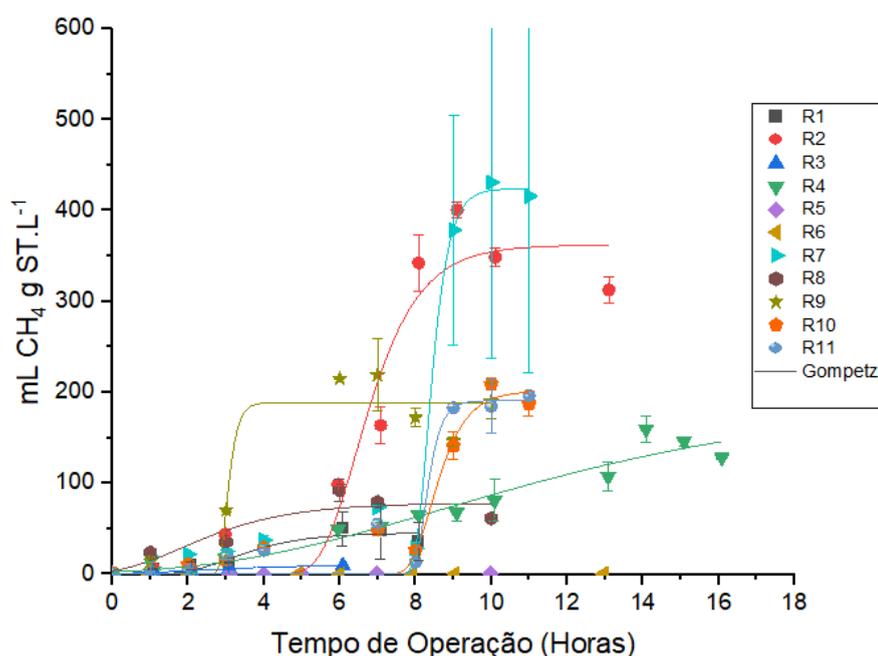
Por outro lado, para Y_1 , o rendimento de metano (P) foi reduzido drasticamente em concentrações superiores a 10g.L^{-1} de BCA, como pode ser visualizado nos ensaios R3, R8 e R9 (com 50, 58,28 e 30 g.L^{-1} de BCA respectivamente), onde obteve-se os menores valores de P (10,45; 78,0 e 188,32 mL gST.L^{-1} , respectivamente) Assim, o aumento da carga orgânica gerado pela adição de BCA, pode ter ocasionado desequilíbrio no processo de digestão com a inibição microbiana (GUERI, *et al* 2018).

Ademais foi evidenciada, que a inibição da produção de metano (Y_1) ocorre em temperaturas na faixa termofílica ou psicofílica, como evidenciado nos ensaios R6 e R5 (61,21 e 18,79 $^{\circ}\text{C}$, respectivamente), ambos com 30 g.L^{-1} de BCA, onde ocorreu a inibição de

P (Figura 1). Tem-se duas faixas ótimas de temperatura para a obtenção de metano, a primeira mesófila (20 a 40 °C) e a segunda termofílica (50 a 60 °C), com a segunda gerando cerca de 41% a mais na produção de CH_4 (BOUALLAGUI 2004). Nos ensaios R1 e R2 (10 g.L⁻¹ de BCA, ambos) com 25 °C e 55 °C respectivamente, no qual o R2 (361,88 mL gST.L⁻¹) apresentou a maior produção de metano em comparação ao R1 (45,11 mL gTS.L⁻¹).

Já para Y_2 , foi constatado aumento da velocidade de produção (R_m) atrelado com a adição de BCA. Com isso, quando comparado os ensaios com o controle, houve aumento significativo de R_m , como pode ser observado no ensaio R9, velocidade 141 vezes maior em relação ao ensaio controle. O valor de R_m varia de acordo com a concentração de BCA e temperatura, sendo inibido com a subdosagem do co-substrato ou com temperaturas que não estão nas faixas ótimas para a produção de biogás (SINGH, 1994).

Figura 1. Rendimento de CH_4 nos ensaios realizados com diferentes concentrações de BCA e de inóculo, de acordo com a matriz de DCCR.



CONCLUSÕES

Por meio da análise estatística, foi observado que o ponto ótimo para a produção de metano (P) foi para as condições sem BCA, com altos valores de λ . Entretanto, valores similares de P (361,88 mL gST.L⁻¹) e R_m (144,42 mL CH_4 g⁻¹ ST_{add}.h⁻¹) e reduzido λ (5,51h) foram obtidos com a adição de BCA (10 g.L⁻¹), em R2, o que pode ser considerado mais



vantajoso para o escalonamento do processo. Sendo assim, 10 g BCA.L⁻¹ e 55 °C podem ser consideradas condições otimizadas do processo de co-digestão de dejetos de suínos e BCA.

REFERÊNCIAS

- ANTONELI, V.; MOSELE, A. C.; BEDNARZ, J. A.; PULIDO-FERNÁNDEZ, M.; LOZANO-PARRA, J.; KEESSTRA, S. D.; RODRIGO-COMINO, J. Effects of applying liquid swine manure on soil quality and yield production in tropical soybean crops (Paraná, Brazil). **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 14, p. 1–11, 2019.
- BOUALLAGUI H.; HAOUARI O.; TOUHAMI Y.; BEN CHEIKH R.; MAROUANI L.; HAMDY M. Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste. *Process Biochemistry*, Londres, v. 39, n. 12, p. 2143-2148, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2003.11.022>.
- DUBOIS, M.; GILLES, K.; HAMILTON, J.; REBERS, P.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350–356, 1956.
- GUERI, M. V. D; SOUZA, S. N. M; KUCZMAN, O. Pâmetros operacionais do processo de digestão anaeróbia de resíduos alimentares: Uma revisão. *Biofix scientific journal*. v.3, n.1, p.17-25, 2018.
- MASIH-DAS, J.; TAO, W. Anaerobic co-digestion of foodwaste with liquid dairy manure or manure digestate: Co-substrate limitation and inhibition. **Journal of Environmental Management**, v. 223, n. July, p. 917–924, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.016>>.
- RABELO, C. A. B. S.; SOARES, L. A.; SAKAMOTO, I. K.; SILVA, E. L.; VARESCHE, M. B. A. Optimization of hydrogen and organic acids productions with autochthonous and allochthonous bacteria from sugarcane bagasse in batch reactors. **Journal of Environmental Management**, v. 223, p. 952–963, out. 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479718307679>>.
- SAAD, M. F. M.; RAHMAN, N. A.; YUSOFF, M. Z. M. Hydrogen and methane production from co-digestion of food waste and chicken manure. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 28, n. 4, p. 2805–2814, 2019.