



PRODUÇÃO DE BIOGÁS E METANO EM SISTEMAS ANAERÓBIOS DE CODIGESTÃO ENTRE VINHAÇA E ESTRUME BOVINO INÓCULADO COM LODO AVIÁRIO

Renata Piacentini Rodriguez¹
Alexandre Da Silva Souza²

Ambiente e clima: impactos e riscos

Resumo

A integração dos resíduos sucroalcooleira e pecuária através da codigestão fornece mais carga orgânica e mais diversidade microbiana no sistema. Este trabalho avaliou a codigestão de vinhaça (VN) e esterco bovino (EB), avaliando um inóculo anaeróbico submetido a sucessivos ensaios de mono e codigestão de potencial bioquímico de metano (BMP). Na fase 1, a quantidade de EB nos ensaios de codigestão variou de 2 a 20%, considerando a VN como substrato principal. Nos reatores de monodigestão, VN ou EB foram adicionados como único substrato. A adaptabilidade do inóculo foi avaliada em um ensaio sequencial de BMP. Ao final da fase 1, o conteúdo de cada reator foi centrifugado e o inóculo foi submetido às mesmas condições da fase anterior, iniciando a fase 2. A maior produção específica de metano (PEM) na fase 1 foi de 1327 ± 50 ml NCH₄/gTVS para os reatores 90% VN:10% EB, entretanto, não foram observadas diferenças significativas entre os ensaios de mono e codigestão (PEM) de 937 ± 30 a 1136 ± 24 ml NCH₄/gTVS). Na fase 2, foi observado um efeito adaptativo. O PEM dos testes 90:10% aumentou para 2100 ± 93 ml NCH₄/gTVS, seguido pelos testes 80:20% e 95:5% (1986 ± 97 ml NCH₄/gTVS e 1885 ± 32 ml NCH₄/gTVS). A monodigestão, no entanto, não resultou em um aumento significativo no PEM. No caso do VN, nenhuma diferença estatística foi observada entre as fases 1 e 2. Para o EB, um aumento de 24% foi observado. Os resultados indicaram que os sistemas de codigestão parece aumentar a produtividade de metano em relação a mono.

Palavras-chave: Biometano; Sustentabilidade; Descarbonização; Sucroalcooleiro; Pecuária

¹Orientação: Inserir aqui: 1º- vínculo Institucional; 2º- departamento e 3º- contato eletrônico. (Regra: Times New Roman, itálico, 10).

Prof. Me. Nome da Instituição – Departamento XXXXXX, email@gmail.com.

² Aluno (s) do Curso (técnico, graduação, especialização, mestrado ou doutorado em XXXXX.), Instituição XXXX, departamento, email@gmail.com.



INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes através da digestão anaeróbia para produção de biogás e biometano demonstra ser uma ótima alternativa no setor sucroalcooleiro e pecuário para a mitigação dos impactos gerados na emissão de gases de efeito estufa, promovendo uma solução mais sustentável, rentável e viabiliza uma descabornização na linha de produção.

A vinhaça é um subproduto gerado na produção de etanol que possui uma característica de resíduo orgânico líquido, com coloração escura e odor forte. Contém um pH predominantemente ácido e com uma alta concentração de nutrientes como cálcio, potássio e magnésio. A capacidade de geração do biogás no tratamento da vinhaça depende do volume final de etanol produzido, podendo alcançar um volume de 185 m³ de biogás a partir da produção de 1 m³ de etanol, onde 60% desse volume de biogás gerado é metano. As características caloríficas do biogás vão depender da concentração do metano e o grau da umidade do gás, sendo adotado em média de 5.500 kcal/m³ quando considerado o biogás seco com 60% de metano (Pompermayer; Júnior, 2000).

Em relação ao estrume bovino segundo (Santos; Nogueira, 2012), a média de produção diária de estrume bovino no Brasil é de 21 kg/animal. Avaliando esses parâmetros o volume de estrume produzido no Brasil pelo gado confinado, em escala anual seria de aproximadamente 40,3 milhões de toneladas. Na produção confinada, os resíduos orgânicos provenientes podem incluir estrume bovino, urina, rumem animal devido ao abate, retalhos de couro, sangue e materiais cárneos, sendo gerado em média de 20 a 50 kg/cabeça abatida (Nunes; Júnior; Guimarães, 2017) e sua caracterização varia conforme a sua origem.

Esse trabalho teve como objetivo avaliar o potencial bioquímico de metano através da codigestão entre vinhaça e estrume bovino por meio da adaptação e enriquecimento de inóculo proveniente de lodo de UASB em tratamento de um abatedouro de aves.

METODOLOGIA

A adaptação de inóculo em sistema de mono e codigestão para tratamento de resíduos da vinha e estrume bovino para produzir biogás foi realizado através de experimentos em escala laboratorial, utilizando como substratos de codigestão estrume bovino proveniente de frigorífico localizado no



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

município de Poços de Caldas – MG, junto com a vinhaça coletado em uma usina de cana-de-açúcar na cidade de Iracemápolis – SP. O inóculo utilizado na adaptação do sistema foi coletado em um reator UASB em operação para tratamento de efluentes de abatedouro de aves no município do Tiête – SP.

A operação do experimento ocorreu através de frascos de vidro borossilicato de graduação de 250 ml, tampado com rosca e septo de borracha para vedação, desta forma simulando um reator para tratamento desses resíduos através da digestão anaeróbia. Cada reator foi adicionado 125 ml de volume líquido, compostos pela mistura de vinhaça, estrume bovino e inóculo, os outros 125 ml foi destinado como volume de headspace no qual será armazenado o biogás produzido na digestão anaeróbia.

Com intuito de investigar diferentes condições para a codigestões dos resíduos utilizou o método de VDI4630 (Deutscher, 2006), que preconiza a realização de ensaios bioquímicos de metano na proporção de 2:1 em termos de sólidos voláteis totais para o inóculo e substratos. A caracterização em relação do teor de sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos totais fixos foi realizado conforme o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Apha, 2012). Desta forma foi determinado 8 condições conforme a tabela 1. Os ensaios aconteceram em triplicadas, totalizando 24 reatores operados. Desta forma foi determinado 2 condições de mono digestão, 4 condições de codigestões variando a proporção entre vinhaça e estrume bovino e 2 controles, resultando em 1 mono digestão de vinhaça e inóculo, 1 mono digestão de estrume bovino com inóculo, 1 codigestão com 98% de vinhaça e 2% de estrume, 1 codigestão com 95% de vinhaça e 5% de estrume bovino, outra com 90% de vinhaça e 10% de estrume bovino e outra com 80% de vinhaça e 20% de estrume, 1 controle foi feito com celulose e inóculo, preenchido com água e por fim 1 controle apenas com inóculo e água. Todas condições foram realizadas em triplicadas, totalizando 24 simulações.

A coleta do biogás ocorreu com uma seringa de 500 ml e a coleta foi realizado diariamente no início, conforme a diminuição do volume de biogás produzido a coleta foi sendo realizada em dias alternados, até estabilizar a produção de biogás.

O experimento ocorreu em 2 fases, sendo a primeira fase rodada em aproximadamente em 200 dias. Finalizado a 1 fase, ocorreu uma centrifugação nos reatores com velocidade de 3500 RPM por 20 minutos, separando a parte líquida da parte mais sólida que era composto por inóculo. A parte líquida foi descartada e em seguida foi adicionado a mesma quantidade de vinhaça e estrume bovino, mantendo



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

volume sólido restante dentro dos reatores e operando em mesmas condições na 2ª fase, os reatores produziram biogás aproximadamente por 140 dias consecutivos. Os volumes de biomassa de inóculos no início da fase 2 variou entre 2 a 40 ml. Como condições de controle das operações, foi controlado a temperatura em aproximadamente 30°C, pH na faixa entre 6 e 8, e realizou análises de sólidos voláteis, DQO, alcalinidade em todos fim e início das fases. O gás coletado foi submetido a análise cromatográfica gasosa, determinando o percentual médio de metano presente em cada simulação realizada, desta forma foi possível determinar o biogás produzido, a produção específica de metano e o percentual máximo de metano presente no biogás nas fases 1 e 2.

Todos reatores foram operados por aproximadamente 12 meses. Na época de frio, os reatores ficaram alojado em uma estufa a 35 °C, isso ocorreu no final de operação da fase 1 e em toda operação da fase 2. Antes dessa mudança, os reatores ficaram alojados em uma câmara de grande porte com a temperatura variando entre 25 a 30°C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização dos substratos vinhaça e estrume bovino, assim como o inóculo se deu por meio da análise de sólidos totais, voláteis e fixos, realizada previamente aos ensaios de potencial bioquímico de metano (Tabela 2).

Tabela 2 - Caracterização dos substratos em relação a fração de sólidos

Amostra	Sólidos totais (g/l)	Sólidos totais voláteis (g/l)	Sólidos totais fixos (g/l)	Sólidos voláteis / Sólidos totais (%)
Vinhaça	40,9±0,7	27,6±0,6	13,3±1,3	67,6
Estrume	16,1±1,1	13,9±1,0	3,3±0,1	79,0
Inóculo	13,4±3,3	10,1±3,0	3,2±0,3	76,0

Fonte: Produção do próprio autor.

A vinhaça foi o substrato que apresentou o maior conteúdo de sólidos, tendo o teor de sólidos totais voláteis perante a fração de sólidos totais com estimativa de 67%. No caso do estrume bovino, apesar do menor conteúdo de sólidos voláteis totais, a relação entre sólidos voláteis perante ao sólidos totais foi estimado em 79%, indicando que no caso do estrume bovino existe maior disponibilidade de matéria orgânica disponível para a conversão em biogás. O inóculo apresentou o menor conteúdo de



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

sólidos totais e voláteis comparando aos substratos analisados e sua relação de sólidos foi estimada em 76%. O volume de biogás na fase 1 não obteve diferenças significativas nos monos e codigestões, tendo como maiores volumes de mono digestão de estrume bovino de 1275 ± 26 ml e o volume da codigestão vinhaça 90% e estrume bovino 10% com 1223 ± 43 ml. Na fase 2 já foi possível observar uma grande diferença entre os sistemas de mono e codigestão, sendo o volume produzido de 2486 ± 121 na codigestão vinhaça 80% e estrume bovino 20% e no mono digestão novamente o estrume bovino com volume de 1745 ± 97 ml. Pode observar que de modo geral a fase 2 apesar de operar em menos dias conseguiu obter volumes maiores que na fase 1 onde o experimento ocorreu em mais dias, conforme demonstrado na Tabela 3.

Em relação a produção específica de metano na fase 1, a codigestão de vinhaça 90% e estrume bovino 10% demonstrou o maior volume de 1327 ± 50 ml NCH_4 / gSTV, o restante das misturas não obtiveram grandes diferenças na produção, exceto a mistura 98% vinhaça e 2% estrume bovino.

Na fase 2 manteve o mesmo padrão, sendo a vinhaça 90% e estrume bovino 10% com a maior produção de metano específico com 2100 ± 93 ml NCH_4 / gSTV conforme a tabela 4 a seguir.

Tabela 3 - Volume total acumulado de biogás e pH inicial e final

Condição Experimental	Fase I			Fase II		
	Volume Acumulado do Biogás (ml)	pH _i	pH _f	Volume Acumulado do Biogás (ml)	pH _i	pH _f
Controle negativo	201±30	-	-	-	-	-
Controle positivo	1125±112	7,9	7,9	1528±246	7,6	7,8
Vinhaça	1099±216	7,6	7,6	1555±97	7,4	7,8
Estrume	1275±26	7,9	7,6	1745±178	7,7	7,7
Vinhaça+Estrume (98:2%)	473±44	8,3	7,4	-	-	-
Vinhaça+Estrume (95:5%)	879±29	7,6	7,6	1695±28	7,3	7,8
Vinhaça+Estrume(90:10%)	1223±43	7,3	7,7	1978±88	7,3	7,7
Vinhaça+Estrume(80:20%)	1043±47	7,2	7,7	2486±121	7,5	7,6

Fonte: Produção do próprio autor.



Tabela 4 - Produção específica de metano nas fases 1 e 2

Condição Experimental	Fase I	Fase II
	Produção específica (ml NCH ₄ /gSTY)	
Controle positivo	858±85	977±157
Vinhaça	1034±204	1193±74
Estrume	1136±24	1413±142
Vinhaça + estrume (98:2%)	420±39	-
Vinhaça + estrume (95:5%)	937±30	1885±32
Vinhaça + estrume (90:10%)	1327±50	2100±93
Vinhaça + estrume (80:20%)	968±44	1986±97

Fonte: Produção dos próprios autores.

O percentual máximo de metano no biogás foi maior na fase 1 e decaindo na fase 2. Na fase 1 o percentual foi de 65% de metano e na fase 2 o percentual variou entre 45 a 55%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a caracterização dos co-substratos e o inoculo fica evidenciado que os três elementos presentes na montagem do reator possuem um potencial de degradação, em especial o estrume bovino que oferece mais matéria orgânica ao sistema de digestão anaeróbia, consequentemente favorecendo o consorcio microbiano presente na biomassa inoculada. Em relação a produção de biogás, a fase I conseguiu manter um nível de produção em mais tempo, entretanto, não ficou evidenciado uma diferença notória entre as mono- digestões com as co-digestões, porém vale ressaltar que nessa primeira fase os reatores que operaram com fração maiores de estrume na co-digestão conseguiram ter um desempenho equiparável os monos digestões de vinhaça e estrume bovino. Com a realização da centrifugação para montagem da fase II, a adaptação e enriquecimento da biomassa foi bem positiva, visto que todos reatores operaram com menos tempo e foram capazes de produzir praticamente o dobro de volume do biogás. Pensando em relação a produção de metano, a fase I já demonstrou diferenças em relação a produção de biogás, visto que a co-digestão 90:10% conseguiu produzir mais metanos que todas as outras co-digestões e mono-digestões. A fase II seguiu os padrões de produção de biogás, entretanto, houve uma diminuição no percentual de metano produzido em relação a fase I. Por fim a integração entre vinhaça e estrume bovino pode apresenta pontos mais positivos que negativo, principalmente analisando a produção de biogás constante.



REFERÊNCIAS

CalegariI, R. P. Produção de biogás a partir de vinhaça concentrada. p. 81, 2017.

DMS, 2022. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/boi/335455-censo-de-confinamento-dsm-registra-6-95-milhoes-de-bois-confinados-em-2022.html>. Acesso em 20 de janeiro de 2023.

Fuess, L. T. et al. Biochemical butyrate production via dark fermentation as an energetically efficient alternative management approach for vinasse in sugarcane biorefineries. *Renewable Energy*, v. 158, p. 3–12, 2020.

R de Souza Pompermayer, DR de Paula Júnior. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos. In: Encontro De Energia No Meio Rural, 3., 2000, Campinas.

Santos, I. A.; Nogueira L.A.H. Estudo energético do esterco bovino: Seu valor de substituição e impacto da digestão anaeróbia. *Revista Agroambiental-Abril/2012*. Disponível em: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v4n12012373>. Acesso em 5 de maio de 2023.