

Desafios da operacionalização do biorreator com inóculo mesofílico

Felipe Orcelli Wojcieckowski¹, Rafael Moreira Marques², Jhenifer Aline Bastos³, Gabriel de Szechy Vigna⁴, Rossano Gambetta⁵

Resumo

O desenvolvimento do processo de biodigestão com foco em resíduos agropecuários é uma forma de gerar renda no campo, ao gerar energia e fertilizante, e ao mesmo tempo destinar de forma ambientalmente correta os resíduos gerados em suas atividades, inserindo-se na bioeconomia e na descarbonização da economia. Contudo, para a realização de estudos de biodigestão, são importantes a origem e a reprodutibilidade do inóculo utilizado nos experimentos. Nesse contexto, foi necessário montar e operacionalizar um biodigestor para produção de inóculo de 160 L, com 120 L de inóculo inicialmente composto por digestato de biodigestor oriundo da suinocultura (80%) e de dejetos brutos bovinos (20%). Na operação desse biodigestor, foi implementada uma série de métodos para acompanhar as variáveis de processo relevantes, tais como pH, alcalinidade, sólidos voláteis, sólidos totais, demanda química de oxigênio, nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio amoniacal e produção de metano, para assim assegurar uma operação contínua e estável do processo de biodigestão.

Termos para indexação: biodigestor, inóculo, monitoramento.

Introdução

À medida que a população humana cresce, também aumenta a demanda energética necessária para suprir suas atividades, sendo um grande exemplo disso a primeira revolução industrial, que junto com seus avanços tecnológicos também necessitou do uso de grandes quantidades de energia, nesse contexto, principalmente advinda do carvão. Assim sendo, essa maior demanda de energia leva a um maior risco de crise energética e a uma crise ambiental, visto que mais de 85% da energia utilizada pelo mundo é derivada de fontes fósseis (Bertolo et al., 2022), contribuindo para o aumento do efeito estufa, e conseqüentemente para o aquecimento global, por causa das emissões de gás carbônico (CO₂).

Dessa forma, muito esforço de pesquisa tem sido dado ao uso das energias renováveis, ou seja, energias que possuem um ciclo fechado de carbono, reduzindo emissões de CO₂. Um exemplo desse tipo de energia renovável é o biogás. Ele é oriundo da biodigestão de biomassa residual ou cultivada de forma dedicada para esse uso, por exemplo, a torta de filtro e vinhaça, da cadeia produtiva do etanol. A biodigestão ocorre pela ação de microrganismos, que consomem a biomassa, liberando o biogás, que contém metano e pode ser usado para geração de energia elétrica ou como biocombustível (Milanez et al., 2018). Essa fonte de energia é considerada privilegiada (Vieira; Polli, 2020).

Nesse contexto, a Embrapa Agroenergia deu início ao estudo sobre biogás a partir da montagem e do monitoramento de um reator de 160 L, tendo em vista os parâmetros de pH, alcalinidade, sólidos voláteis, sólidos totais, demanda química de oxigênio, nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio amoniacal e produção de metano. Esse reator contém um inóculo, amostra de matéria orgânica que

¹ Químico Tecnológico, Universidade de Brasília, felipe.orcelli@colaborador.embrapa.br

² Químico Tecnológico, Universidade de Brasília, rafael.marques@colaborador.embrapa.br

³ Engenheira ambiental, doutoranda em Sustentabilidade Ambiental Urbana, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, jhenifer.bastos@colaborador.embrapa.br

⁴ Graduando em Engenharia Mecatrônica, Universidade de Brasília, gabriel.vigna@colaborador.embrapa.br

⁵ Engenheiro químico, doutor em Ciência em Engenharia Química, Embrapa Agroenergia, rossano.gambetta@embrapa.br

contém uma microbiota responsável pelo consumo de biomassa, a fim de produzir biogás, composto por digestato de biodigestor de suinocultura (80%) e de dejetos brutos bovinos (20%).

Materiais e métodos

O biodigestor foi alimentado três vezes na semana com um blend nutritivo constituído por proteína de soja, flocão de milho, óleo de soja e água destilada, respectivamente nas quantidades de 19,20 g, 52,33 g, 13,92 g e 432 mL. A respeito do método de alimentação em si, primeiramente é adicionado ao blend nutritivo uma porção do inóculo, retirada na hora através da saída do reator. Após serem misturados, são despejados no reator através de sua entrada. Em seguida, retira-se mais uma porção do inóculo para que também seja despejada pela entrada do reator. Dessa vez, ele se encontra puro e não em mistura com o blend nutritivo, para que por fim se repita o processo pela terceira vez, não só alimentando o sistema, mas também permitindo uma homogeneização maior do inóculo no reator, além da gerada pelo seu sistema de agitação.

Sobre o monitoramento do reator, foram adotados como parâmetros: alcalinidade e acidez total, demanda química por oxigênio (DQO), teor de sólidos totais (ST) e voláteis (SV), pH, teor de proteínas, amônia livre, teor de ácidos graxos voláteis (AGVs) e composição do gás gerado (Ripley et al., 1986; American Public Health Association, 2005; Association of Official Analytical Chemists, 1990; De Prá, 2013; Mesquita et al., 2013). Assim, acompanhou-se semanalmente o comportamento relativo à microbiota, sendo todas as análises feitas uma vez na semana. Ressalta-se que a escolha de tais parâmetros se deu a partir do estudo realizado por Kunz et al. (2019).

A análise de composição do gás gerado é realizada por meio da análise da amostra de gás, coletada na sua respectiva saída no reator, utilizando-se uma bag de amostragem gasosa, por um cromatógrafo gasoso Shimadzu GC-2014, o qual opera através de uma injeção manual de 1 mL de loop a 150 °C por duas linhas TCD a 180 °C. A primeira linha trata-se de uma coluna PorapakN 2 m x 3 mm, utilizando um fluxo 35 mL/min de hélio como gás de arraste. Já a segunda refere-se a uma coluna Carboxen 1000 4,6 m x 2,1 mm, utilizando fluxo de 45 mL/min de nitrogênio como gás de arraste, e que possui um backflush Haysep P 1 m x 3 mm, enquanto a coluna fixa a temperatura de 40 °C por 1 min para em seguida executar uma rampa de aquecimento de 20 °C/min até atingir 150 °C, os quais são mantidos por 8,5 min assim totalizando 15 minutos de corrida.

Resultados e discussão

A alcalinidade total é um indicador para avaliar a estabilidade do reator durante o processo de biodigestão, que, por meio da presença de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, apresenta um efeito tampão para evitar a variação brusca do pH. Buscando na literatura, recomenda-se que esse indicador seja na faixa de 2.500 mg a 5.000 mg CaCO₃/L (Kunz et al., 2019) e que a relação de alcalinidade intermediária e parcial (AI:AP) esteja entre 0,3 e 0,4 (Kunz et al., 2019). Na Figura 1A, é possível observar que o valor de AT inicialmente estava elevado, porém, a partir da semana de 21 de novembro, passou a condizer com o esperado pela literatura, mantendo-se nesse patamar no decorrer das semanas, apesar de esporadicamente ultrapassar o valor de 5.000 mg. Isso é refletido na estabilização do pH em valores propícios à atividade microbiana desejada. Em contrapartida, a relação AI:AP (Figura 1A) apresenta uma razão menor do que a recomendada, indicando que o reator opera em subcarga. Apesar disso, a alimentação não foi alterada, uma vez que o biodigestor tem como função produzir inóculo, ou seja, sua função principal é manter a microbiota viva e ativa. Caso o reator estivesse tendo uma alimentação com uma carga adequada, o inóculo levado a outros

experimentos ainda carregaria consigo um potencial de produção de biogás, interferindo no próprio experimento.

Por sua vez, os parâmetros de DQO e teor de sólidos totais e voláteis têm como intuito avaliar a quantidade de matéria orgânica presente no reator, sendo o primeiro mais específico em relação à quantidade de carga orgânica, enquanto o segundo, além de apresentar a quantidade de carga orgânica, embora menos precisa (Meegoda et al., 2018), também mostra o seu perfil em relação à umidade. Na Figura 1B, pode ser observado que a DQO apresentou um comportamento em que o valor de concentração de matéria orgânica cresce até um determinado pico para em seguida decrescer a um valor baixo e assim crescer novamente repetindo o comportamento. Isso se dá porque com o passar das semanas ocorreu o acúmulo de matéria orgânica de digestão mais demorada, que com o tempo começou a ser digerida, assim, refletindo na diminuição das concentrações. Nota-se que essa digestão é auxiliada pela homogeneização de inóculo citada anteriormente.

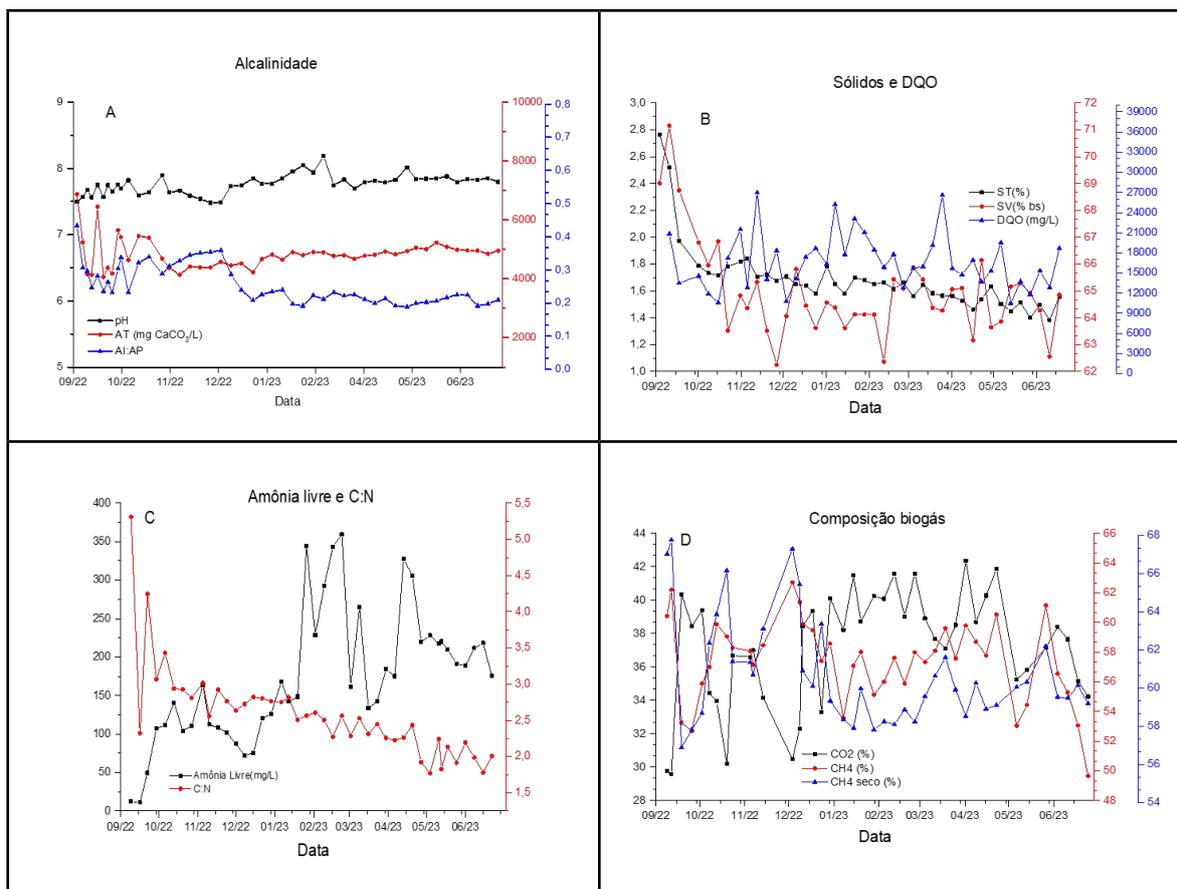


Figura 1. Principais variáveis acompanhadas na operação do biodigestor: (A) Análise de alcalinidade. (B) Análise de sólidos e DQO. (C) Amônia livre (mg/L) e relação carbono:nitrogênio (C:N). (D) Composição do biogás. O tempo total apresentado foi de 287 dias.

Pela análise de sólidos (Figura 1B), é possível observar mais uma vez a estabilidade do sistema ao mostrar poucas variações entre os resultados. Além disso, demonstra que o perfil tratado, o inóculo, apresenta uma alta umidade, sendo que tal constituição se dá graças ao teor de sólidos totais e voláteis de cada componente da alimentação, e de maneira igual sua carga orgânica, as quais foram estudadas de modo a garantir a atividade da microbiota presente no inóculo.

Tratando da presença de nitrogênio no sistema, não há na literatura um consenso bem estabelecido a respeito da quantidade mínima de amônia livre necessária para ocorrer um processo inibitório na produção de gás, sendo possível encontrar valores de 80 mg/L a 375 mg/L (Deublein; Steinhauser, 2011; Rodríguez et al., 2011). Por causa dessas variações, não é possível afirmar

inibições no sistema apenas a partir dos dados apresentados na Figura 1C. Porém nele se observa que a mesma variação de valores presente nos dados de DQO ocorreu nos dados de amônia livre, o que reforça a influência da alimentação e homogeneização do sistema nos parâmetros analisados. Por sua vez, a relação C:N apresenta valores menores aos já definidos na literatura, na qual se recomenda que a proporção esteja entre 20:1 e 30:1 (Kunz et al., 2019). Isso também se justifica pelo fato de o reator ser de inóculo e estar com subcarga.

A respeito da presença de ácidos graxos voláteis, por meio de sua análise, foi observado que nenhum ácido foi identificado, sendo esse um bom indicativo do funcionamento do processo de biodigestão, pois, caso houvesse a produção de ácidos, o processo iria apresentar perdas de produção, uma vez que eles são de difícil digestão.

Por fim, como parâmetro de validação do processo como um todo, está o estudo da composição do gás gerado, do qual se espera a produção de 55% a 60% de metano (CH₄) e de 25% a 40% de dióxido de carbono (CO₂) (Operação..., 2021).

Analisando-se a Figura 1D, observa-se que os valores propostos foram atingidos na maior parte do tempo, apresentando determinadas semanas, principalmente as iniciais, nas quais o valor de metano ficou abaixo dos 55%. Ressalta-se, porém, que mesmo os valores estando acima de 55%, na maioria das semanas, eles começaram a sofrer quedas, sendo que, nas semanas do dia 15 e do dia 29 de junho, os valores ficaram abaixo do esperado. Logo, mesmo sendo o intuito trabalhar em subcarga, a alimentação menor que a necessária pode começar a prejudicar o sistema.

Conclusão

Ao analisar os dados de monitoramento do reator, tem-se que a criação e a manutenção do reator foram validadas, visto que a produção de metano está acima de 55% ao longo das semanas observadas, e os demais parâmetros acompanhados também estão estáveis.

Em contrapartida, ressalta-se que, durante as semanas finais do intervalo analisado, resultados como produção de metano e relação C:N apresentaram tendências de queda, que se persistirem requerem uma reavaliação da alimentação e dos métodos feitos.

Referências bibliográficas

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed., Washington DC, 2005. 541 p.
- ASSOCIATION OF OFICIAL ANALYTICAL. **Official methods of analysis**. 11th ed. Washington, DC, 1990. 1051p.
- BERTOLO, A. J.; KOPPLIN, B. W.; BERTOLO, J. P.; SILVA, L.; CASSOL, F. Combustíveis fósseis: panorama de produção e consumo no brasil. **Gestão e Desenvolvimento em Revista**, v. 8, n. 1, p. 102-123, 18 ago. 2022. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/gestaoedesenvolvimento/article/view/28215>. Acesso em: 27 set. 2023
- DE PRÁ, M. C.; KUNZ, A., BORTOLI, M.; PERONDI, T.; CHI, A. Simultaneous removal of TOC and TSS in swine wastewater using the partial nitrification process. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 88, n. 9, 2013. DOI: 10.1002/jctb.3803.
- DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources: an introduction**. Weinheim: Wiley-VCH, 2011. DOI:10.1002/9783527632794
- KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 214 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1108617?mode=simple>. Acesso em: 5 Jul. 2023.
- MEEGODA, J. N.; LI, B.; PATEL, K.; WANG, L. B. A Review of the Processes, parameters, and optimization of anaerobic digestion. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 10, [e]2224, 2018. DOI:10.3390/ijerph15102224.
- MESQUITA, P. L.; AFONSO, R. J. C. F.; AQUINO, S. F.; LEITE, G. S. Validação de método de cromatografia líquida para a determinação de sete ácidos graxos voláteis intermediários da digestão anaeróbia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 295-302, out/dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000400001>