

NOTA TÉCNICA

OPERAÇÃO DE REATORES SEMICONTÍNUOS NO LABORATÓRIO DE BIOGÁS

www.cibiogas.org

 [cibiogas](#)  [cibiogasoficial](#)  [cibiogasoficial](#)

NOTA TÉCNICA CIBIOGÁS-ER – 001/2022

OPERAÇÃO DE REATORES SEMICONTÍNUOS NO LABORATÓRIO DE BIOGÁS

Diretor-Presidente

Rafael Hernando de Aguiar Gonzalez

Diretor de Desenvolvimento Tecnológico

Felipe Souza Marques

Diretora Administrativo-Financeiro

Michelli Fregnani

Equipe Técnica

Emilene de Carvalho Lourenço

Franciele Natividade Luiz

Juliana Gaio Somer

Revisão Técnica

Felipe Souza Marques

URL: <http://www.cibiogas.org>

Copyright © CIBiogás

Todos os direitos reservados.

CIBIOGÁS. Nota Técnica: Nº 001/2022 – Operação de reatores semicontínuos no laboratório de biogás. Foz do Iguaçu, 2022.

1. INTRODUÇÃO

Diversos parâmetros podem influenciar no rendimento da produção de biogás e por isso é adequado que sejam monitorados em escala laboratorial, com o objetivo de otimizar a digestão anaeróbia. Entre esses parâmetros estão: a temperatura, o pH, a acidez, a alcalinidade, a composição do substrato, a Carga Orgânica Volumétrica (COV), o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) e a agitação do meio reacional (KUNZ et al., 2019). Desse modo, as variáveis de operação dos reatores de bancada buscam reproduzir condições de campo, de forma que os parâmetros que indicam os melhores resultados possam ser utilizados como referências para reatores em escala plena.

Este documento apresenta resultados obtidos a partir da variação da COV e do TRH em escala de bancada para os reatores semicontínuos do tipo Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC) e Mistura Completa (CSTR), operados no Laboratório de Biogás do CIBiogás, e busca esclarecer a influência desses aspectos no rendimento da produção de biogás. Além disso, a comparação de dados obtidos no laboratório com os de escala plena demonstra a importância de estudos técnicos voltados aos principais fatores que influenciam na produção de biogás para cada tipo de reator e substrato.

Assim, essa nota técnica disponibiliza dados que podem ser empregados como referência para a tomada de decisões operacionais e de projetos envolvendo condições semelhantes às testadas, contribuindo para o crescimento e o desenvolvimento do setor de biogás no Brasil.

2. METODOLOGIA

Os substratos foram estabelecidos para cada modelo de reator de acordo com a alimentação de biodigestores em escala real. O BLC foi alimentado com dejetos suínos provenientes de uma granja localizada em São Miguel do Iguazu - PR. O CSTR foi abastecido com resíduos de alimentos triturados (resíduos de restaurante), cacau em pó e farelo de milho, conforme operação à época do reator de mistura completa da unidade de demonstração - UD Itaipu.

Os substratos foram submetidos aos ensaios de Sólidos Totais (ST) e Sólidos Voláteis (SV), que foram realizados nas amostras antes e depois da digestão anaeróbia (APHA, 2017). A coleta de dados da produção e composição do biogás foi realizada em mais de 60% dos dias de duração dos experimentos. A partir de todos os procedimentos implantados, foi possível determinar a produtividade de biogás e metano e a remoção de carga orgânica (VDI 4630, 2016).

3. OPERAÇÃO E RESULTADOS DO REATOR BLC EM ESCALA DE BANCADA



O reator BLC operou com volume útil de 8,0 litros, com a inoculação realizada por uma mistura composta por 80% de efluente de suinocultura bruto e 20% de inóculo, este, obtido no Laboratório de biogás. Foram fixadas e controladas as

variáveis de temperatura a 37 °C e a agitação foi realizada por meio da recirculação hidráulica do substrato a cada seis horas, por um período de 30 minutos.

O reator BLC foi operado com TRH de 30 dias no ensaio A, como são operados normalmente os biodigestores rurais em escala plena. Já no ensaio B, aumentou-se a COV da alimentação diária, de forma que o TRH fosse reduzido para 25 dias. Os dados das condições experimentais para o reator BLC, assim como os de escala plena, obtidos por meio de literatura, estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1. Condições de operação e resultados de produção de biogás e metano e remoção de SV nos reatores do tipo BLC em escala de bancada e escala plena.

| PARÂMETROS | CIBiogás | | Escala plena |
|---|---------------|---------------|------------------------------------|
| | A | B | Tapparo et al. (2021) ¹ |
| TRH (dias) | 30 | 25 | 28 |
| COV (gSV L ⁻¹ d ⁻¹) | 0,50 | 0,60 | 0,35 |
| Produtividade de biogás (L. L ⁻¹ d ⁻¹) | 0,223 ± 0,02b | 0,244 ± 0,04a | 0,180 ± 0,05 |
| Produtividade de metano (L. L ⁻¹ d ⁻¹) | 0,139 ± 0,02b | 0,157 ± 0,03a | - |
| Remoção de SV (%) | 81 | 87 | 63 |

¹Reator operando a 23°C.

Médias na mesma linha, seguidas por letras distintas apresentam diferença estatística entre si, segundo Teste Tuckey a 5% de probabilidade.

Nos reatores de escala plena esse aumento da COV, representado nos ensaios A e B, pode demonstrar uma condição de aumento no plantel da granja de suínos, resultando no acréscimo da produção de dejetos sem que haja reformas no sistema de tratamento de efluentes e produção de biogás. Alternativamente, os resultados desses ensaios também podem ser utilizados como referência para futuros projetos de construção e ampliação de sistemas de produção de biogás.

Os ensaios A e B obtiveram produtividade de biogás superior aos apresentados para a escala plena, possivelmente, pelos recursos de controle e automação da temperatura e agitação do substrato no reator em escala de bancada. No campo, dificilmente os reatores BLC apresentam estas funções, o que pode dificultar a otimização da biodigestão, uma vez que há limitações no controle dos parâmetros essenciais à digestão anaeróbia.

O ensaio B demonstrou um acréscimo na produtividade de biogás e metano, quando comparado ao ensaio A, na ordem de 10% e 13%, respectivamente. Tal resultado é atribuído à maior COV e ao menor TRH utilizado no ensaio B. Esse aspecto corrobora para que ensaios com diferentes COV e TRH sejam realizados, com o objetivo de adequar tais parâmetros ao reator, à qualidade e à quantidade de substrato disponível, e maximizar a produtividade de biogás e metano.

Nas condições operadas nesse estudo, o reator BLC foi eficiente ao remover a carga orgânica do efluente de suinocultura, enquanto que em escala plena, apesar de uma menor COV, a remoção de carga orgânica foi inferior. Sabe-se que a remoção de carga orgânica em efluentes é uma das etapas indispensáveis para o tratamento adequado de tais resíduos, tendo em vista a legislação vigente para o lançamento em corpos receptores. Além disso, outras condições e padrões devem ser observadas para a disposição de forma satisfatória conforme descrito na resolução CONAMA n° 430.

4. OPERAÇÃO E RESULTADOS DO REATOR CSTR EM ESCALA DE BANCADA



O reator CSTR operou com volume útil de 10 litros, compostos por uma mistura de inóculo, este, obtido no Laboratório de biogás, resíduos de alimentos

triturados (resíduos de restaurante), cacau em pó e farelo de milho. Os ensaios foram realizados com controle de temperatura a 37 °C, agitação mecânica a cada hora, por 10 minutos e velocidade de 100 RPM. A Tabela 2 apresenta a proporção dos substratos para as codigestões 1 e 2 que foram utilizadas nos ensaios C e D, respectivamente.

Tabela 2. Proporção dos substratos da codigestão empregados no reator CSTR nos ensaios C e D.

| ENSAIO | AMOSTRAS | PROPORÇÃO DE MASSA FRESCA DA CODIGESTÃO (%) | PROPORÇÃO DE SV DA CODIGESTÃO (%) |
|----------|-----------------------|---|-----------------------------------|
| C | Resíduos de alimentos | 17,0 | 17,5% |
| | Cacau | 17,0 | 76,6% |
| | Água | 65,0% | 0,4% |
| | Milho | 1,0% | 5,5% |
| | Codigestão 1: | 100,0% | 100,0% |
| D | Resíduos de alimentos | 26,0% | 28,0% |
| | Cacau | 13,0% | 62,8% |
| | Água | 59,0% | 0,3% |
| | Milho | 2,0% | 8,9% |
| | Codigestão 2: | 100,0% | 100,0% |

A principal diferença entre as misturas de codigestão C e D está na proporção de resíduos alimentares e de cacau em pó. A partir da caracterização dos substratos, definiu-se a COV e o TRH nos ensaios C e D.

Os ensaios propostos buscaram representar a variação dos constituintes da codigestão, que variam conforme disponibilidade de resíduos, sem se afastar do valor da COV aplicada no reator em escala real. Os dados das condições experimentais para o reator CSTR, assim como os de escala plena estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3. Condições de operação e resultados de produção de biogás e metano e remoção de SV nos reatores do tipo CSTR em escala de bancada e escala plena.

| PARÂMETROS | CIBiogás | | Escala plena |
|---|---------------|---------------|-------------------------------|
| | C | D | UD Itaipu (2020) ¹ |
| TRH (dias) | 180 | 170 | 60 |
| COV (gSV L ⁻¹ d ⁻¹) | 1,0 | 1,0 | 0,7 |
| Produtividade de biogás (L. L ⁻¹ d ⁻¹) | 0,385 ± 0,09b | 0,480 ± 0,08a | 0,423 ± 0,05 |
| Produtividade de metano (L. L ⁻¹ d ⁻¹) | 0,200 ± 0,04b | 0,258 ± 0,04a | 0,268 ± 0,04 |
| Remoção de SV (%) | 87 | 84 | 90 |

¹Dados médios de operação da Unidade de Itaipu (Janeiro a Outubro de 2020).

Médias na mesma linha, seguidas por letras distintas apresentam diferença estatística entre si, segundo Teste Tuckey a 5% de probabilidade.

Nota-se um incremento na produção de biogás referente às mudanças apresentadas na composição da codigestão. A mudança na alimentação do reator associada à redução do TRH durante o ensaio D resultou em um aumento na produtividade de biogás e metano de 26% e 29%, respectivamente. Em escala plena foi obtida uma média de produção de biogás que corrobora com os dados obtidos em laboratório, entretanto a COV empregada em campo é inferior a COV do teste de bancada e o TRH do sistema em escala real é menor que o aplicado neste experimento.

Além disso, os ensaios C e D apresentaram capacidade de remoção de carga orgânica de 87% e 84%, respectivamente, valor próximo ao registrado no monitoramento da UD Itaipu (escala plena). Dessa forma, por meio dos ensaios realizados foi demonstrada elevada capacidade de tratamento da carga orgânica.

A utilização de um TRH elevado e baixa COV, nos ensaios de bancada, é justificada pela fase inicial de operação do reator conforme recomendado na VDI 4630. Esses parâmetros podem ser ajustados ao longo do funcionamento do reator com a finalidade de diminuir o TRH e aumentar a COV, resultando em maior rendimento na produção de biogás e conferindo eficiência na remoção de carga orgânica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nos reatores BLC e CSTR em escala laboratorial, assim como os parâmetros avaliados podem servir de referência para aplicação em biodigestores em escala plena, com objetivo no aumento da eficiência da produção de biogás e na remoção da carga orgânica.

A definição dos parâmetros operacionais de cada planta deve passar por uma avaliação técnica e laboratorial detalhada, de forma a obter eficiência em cada tipo de sistema implantado, tanto na produção energética quanto numa alternativa eficaz no tratamento de resíduos orgânicos.

Os dados apresentados demonstram a coerência entre os resultados de laboratório e a escala plena, com clara aplicação do uso de reatores de bancada para simular com representatividade cenários de operação de biodigestores em escala real, tanto em fase preliminar à construção ou em adequação de uma planta de produção de biogás.

6. AGRADECIMENTOS

À Itaipu Binacional, que por meio do financiamento do projeto intitulado “Implantação de reatores semicontínuos no Laboratório de biogás”, possibilitou a coleta dos dados que embasaram este documento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23st ed. Washington: American Water Works Association, 2017.

BRASIL, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, 16 maio 2011.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Embrapa CNPSA, p. 209, 2019.

TÁPPARO, D. C.; CÂNDIDO, D.; STEINMETZ, R. L. R.; ETZKORN, C.; AMARAL, A. C.; ANTES, F. G.; KUNZ, A. **Swine manure biogas production improvement using pre-treatment strategies: Lab-scale studies and full-scale application**. Bioresource Technology Reports, v.15, 2021.

VDI 4630, Fermentation of Organic Materials. **Characterisation of the Substrates, Sampling, Collection of Material Data, Fermentation Tests**. VDI Handbuch Energietechnik. p. 132, 2016.

AMARAL, C. M. C. DO et al. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica**. Ciência Rural, v. 34, n. 6, p. 1897–1902, 2004.