

Desenvolvimento de biodigestor automatizado para produção de inóculo

Gabriel de Szechy Vigna¹, Jhenifer Aline Bastos², Felipe Orcelli Wojcieckowski³, Rafael Moreira Marques⁴, Rossano Gambetta⁵

Resumo

A manutenção de uma fonte estável de inóculo é imprescindível para a obtenção de resultados experimentais reprodutíveis e confiáveis no desenvolvimento de pesquisas relacionadas com o processo de biodigestão, principalmente em razão do grande tempo necessário, medido em semanas, para o desenvolvimento e a estabilização dos microrganismos que fazem conversão da matéria orgânica em biogás. Dessa forma, faz-se necessária a utilização de um biodigestor onde seja possível estabelecer um estado estacionário dos microrganismos presentes no reator, e que eles estejam em condições de se desenvolver assim que inoculados em outros frascos ou bioreatores. O presente trabalho trata da montagem de um biodigestor com controle de temperatura e agitação, e medição do biogás produzido, visando à produção estável de inóculo.

Termos para indexação: biodigestor, produção de inóculo, controle de processo.

Introdução

A história brasileira é marcada pela produção e exploração agrícola desde os primórdios, com destaque para produção de açúcar, café e borracha nos períodos colonial e imperial. No entanto, esse domínio de uma única cultura foi motivo de crises econômicas no País (Landau et al., 2020). Após o processo de industrialização e mecanização da agropecuária nacional, a partir de 1950, foi quando a produção agrícola brasileira começou a despontar, com crescimento consistente e diversificação das culturas (Landau et al., 2020). Em 2006, o Brasil já apresentava um destaque no cenário agropecuário mundial, apresentando um grande potencial de expansão de culturas, como cana-de-açúcar, mamona, girassol e dendê (Scolari, 2006). Nesse contexto, é notável a estimativa de 394 Mt de resíduos de biomassa gerada pelo setor agropecuário brasileiro no ano de 2017 (Brasil, 2019), como uma comprovação do potencial de produção agrícola do País. Desse modo, o aproveitamento desses resíduos como uma fonte potencial para geração de energia representa um ganho de eficiência e sustentabilidade na produção agropecuária.

Entre as tecnologias de aproveitamento de resíduos para geração de energia, destaca-se a biodigestão, como um processo capaz de transformar lixo orgânico em gás metano. Esse gás apresenta-se como uma fonte energética importante, pois pode ser queimado para geração de energia elétrica ou utilizado como substituto ao GLP no uso doméstico em fogões e fornos. O resíduo é transformado em metano dentro de um biodigestor por processos de fermentação anaeróbica. Desse modo, várias características devem ser controladas dentro de um biodigestor para permitir eficiência e qualidade da geração de gás combustível.

¹ Graduando em Engenharia Mecatrônica, Universidade de Brasília, gabriel.vigna@colaborador.embrapa.br

² Engenheira ambiental, doutoranda em Sustentabilidade Ambiental Urbana, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, bolsista na Embrapa Agroenergia, jhenifer.bastos@colaborador.embrapa.br

³ Graduado em Química Tecnológica, Universidade de Brasília, felipe.orcelli@colaborador.embrapa.br

⁴ Graduado em Química Tecnológica, Universidade de Brasília, rafael.marques@colaborador.embrapa.br

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

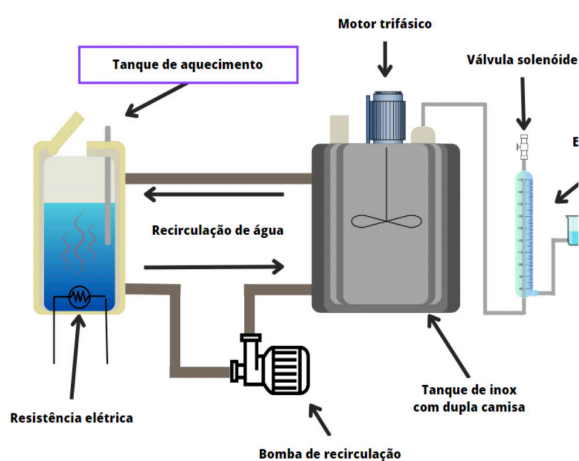
Reatores de maior escala podem ter mecanismos de controle de temperatura e agitação (Kunz et al., 2019). Nesse contexto, observando os fatores computacionalmente controláveis de um biodigestor e a capacidade brasileira de geração de resíduos agropecuários, é objetivo deste trabalho desenvolver um reator de biodigestão com agitação e temperatura controladas, além de gerar estimativas de produção de biogás e permitir acesso aos dados de funcionamento do sistema em um computador. Tudo isso com o intuito de cultivar inóculo dentro do biodigestor para utilização em experimentos de avaliação do potencial metanogênico de diferentes resíduos agropecuários.

Materiais e métodos

O biodigestor montado atende ao propósito de produção de inóculo para utilização em experimentos de avaliação do potencial metanogênico de resíduos orgânicos, logo, é necessário que o biodigestor seja mantido sob condições ideais de funcionamento. Com esse intuito, foi prototipado um sistema eletrônico capaz de regular temperatura e agitação dentro do biodigestor e realizar estimativas de produção de biogás.

Estrutura do biodigestor

A estrutura do biodigestor, apresentada na Figura 1a, é composta por um tanque de aço inoxidável de 160 litros com dupla camisa, um tanque de aquecimento de água de 100 litros, uma bomba para recirculação de água quente e uma resistência elétrica de 750 W. A água é aquecida pela resistência elétrica no tanque de aquecimento e flui pela dupla camisa do tanque de aço inox e, em seguida, escorre de volta para o tanque de aquecimento em razão do fluxo gerado pela bomba. A conexão entre os tanques e a bomba é realizada por meio de espigões e mangueiras flexíveis. Na tampa do tanque de inox, é fixado um motor de indução trifásico ligado a um eixo com pás rotativas usadas para agitação do conteúdo do biodigestor. A fim de estimar a geração de biogás, é utilizado um eudiômetro adaptado com um sistema de liberação automática de gás por meio de uma válvula solenoide. Uma foto do sistema de biodigestão é apresentada na Figura 1b.



(a)



(b)

Figura 1. (a) Esquema do reator de inóculo e (b) foto do reator de inóculo montado.

Sistema de controle

O sistema de controle do biodigestor é composto por um display de cristal líquido, um microcontrolador Arduino Mega 2560, três relés de estado sólido de 40 A, um alarme sonoro, um sensor

de nível do tipo boia, três sensores de temperatura *onewire*, dois sensores infravermelho, uma válvula solenoide e um inversor de frequência. Além desses componentes, foram desenvolvidas placas eletrônicas contendo componentes eletrônicos genéricos para integração dos demais dispositivos.

Todo o sistema é comandado pelo microcontrolador por meio de um código desenvolvido em linguagem C++ e bibliotecas próprias do Arduino. No display de cristal líquido, são apresentadas variáveis de processo, tais como temperatura, ativação da bomba e potência da resistência. Os relés de estado sólido são utilizados para acionamento da bomba, da válvula solenoide e da resistência elétrica. Os sensores de temperatura são fundamentais para monitoramento e regulação da temperatura do inóculo.

Um sensor de nível do tanque de aquecimento é utilizado para verificar se a água está acima do nível da resistência, sendo fundamental para evitar dano à resistência por superaquecimento. O alarme sonoro é utilizado para indicar a ocorrência de alguma falha, a exemplo do nível baixo de água no tanque de aquecimento. Para controle da agitação do biodigestor, é utilizado um inversor de frequência subordinado ao microcontrolador, e é configurada uma rotação fixa de 100 RPM com uma rampa de 5 segundos. No sistema automático de liberação de gás do eudiômetro, são utilizados os dois sensores infravermelhos para identificação do nível de água do dispositivo e a válvula para liberação de gás quando o nível mínimo é percebido.

Lógica de operação e software

O software desenvolvido para controle do sistema se baseia em rotinas desencadeadas por temporizadores e por interrupções de periféricos. A regulação de parâmetros do biodigestor é realizada de modo cíclico. A bomba e o sistema de aquecimento são desligados a cada 1 hora, por 5 minutos, com o intuito de poupar o tempo de uso da bomba. A agitação do inóculo é acionada a cada 12 horas por um período de 15 minutos e o sistema de controle possui um período de amostragem de 10 segundos. O sistema de estimação de produção de gás gera um pulso de interrupção cada vez que os níveis máximo ou mínimo do eudiômetro são detectados pelos sensores.

O pulso do nível mínimo desencadeia a abertura da válvula solenoide, enquanto o pulso do nível máximo gera seu fechamento. É implementado um sistema de controle proporcional integral com base na temperatura. Nesse sistema, a potência necessária na resistência depois de amostragens da temperatura é dada pelas Equações 1 e 2. A potência deduzida pela fórmula é aplicada fragmentando-se o tempo em que a resistência mantém-se ativada durante o ciclo de 10 segundos. Esse ciclo também representa o período de amostragem do controle.

$$P_{res} = P_{max} * \left(\frac{10}{3} * \Delta T_k + \frac{1}{20} * \sum_{a=1}^{a=k} \Delta T_a \right) \quad \text{Equação 1: Dedução da potência necessária na resistência.}$$

$$\Delta T_k = T_{ref} - T_k \quad \text{Equação 2: Diferença de temperatura com relação à referência.}$$

em que:

P_{res}	=	Potência aplicada na resistência após a k-ésima amostragem.
P_{max}	=	Potência máxima da resistência.
T_{ref}	=	Temperatura de referência (valor de temperatura que se deseja atingir).
T_k	=	Temperatura lida na k-ésima amostragem.

Ainda foi desenvolvido um programa em linguagem de programação Python para interpretação e comunicação dos dados obtidos no sistema. Um computador é conectado ao microcontrolador por meio de um cabo USB, e as informações do controle do sistema são escritas em um arquivo de texto nesse computador a cada 10 segundos.

Sistema supervisorio

Como medida de segurança, foi implementado um sistema de supervisão para o controle de temperatura. Um segundo microcontrolador foi programado para verificar a temperatura do banho térmico do biodigestor periodicamente. Esse microcontrolador tem controle sobre a energização da resistência do sistema e pode interromper seu funcionamento caso seja verificado superaquecimento. Os dados coletados no sistema supervisorio também são armazenados no computador por meio de um cabo USB.

Resultados e discussão

O biodigestor está operacional e produzindo inóculo por mais de 6 meses. Durante todo esse período, foram acumulados dados sobre sua dinâmica de funcionamento. O sistema de controle de temperatura conseguiu manter as condições ideais de aquecimento para o inóculo. De modo geral, há uma redução de temperatura menor que meio grau durante o período de 5 minutos em que o sistema é desativado para poupar a bomba, como visto na Figura 2a. Essa diferença de temperatura não é significativa para impactar a geração de inóculo.

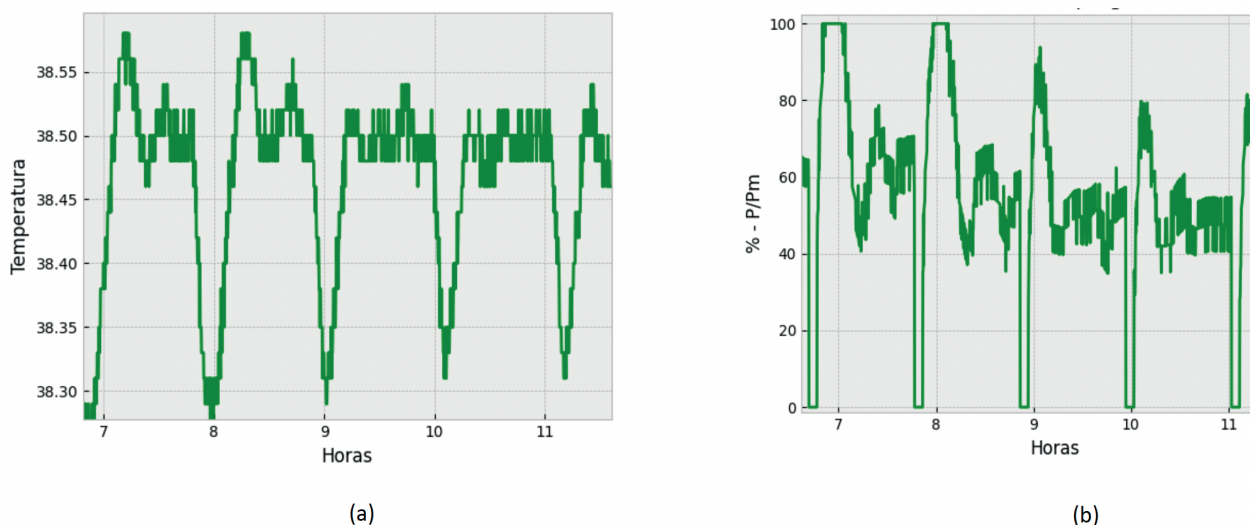


Figura 2. (a) Temperatura média no banho e (b) a potência elétrica aplicada na resistência (das 7h às 11hs do dia 11/7/2023).

Na Figura 2b, é apresentada a potência entregue pela resistência elétrica, onde se observa que o controle de temperatura apresenta uma resposta subamortecida, sendo necessário manter esse comportamento, dado o alto tempo para o equilíbrio térmico. Também é possível observar a saturação da potência nos momentos mais frios do dia, não chegando a afetar o equilíbrio do controle do biodigestor. Contudo, isso indica que uma resistência de maior potência deve ser instalada para garantir maior velocidade de aquecimento.

Cada ativação da válvula solenoide para liberação de gás do eudiômetro é registrada no computador que acompanha o sistema. O intervalo entre ativações pode ser usado para estimar a vazão

de gás produzido com base no volume deslocado de água no eudiômetro. Os sensores infravermelhos identificam um valor fixo de água deslocada no dispositivo. Desse modo, foi possível construir o gráfico da Figura 3a ao se realizar a divisão entre o volume deslocado e o intervalo de tempo entre ativações da válvula solenoide.

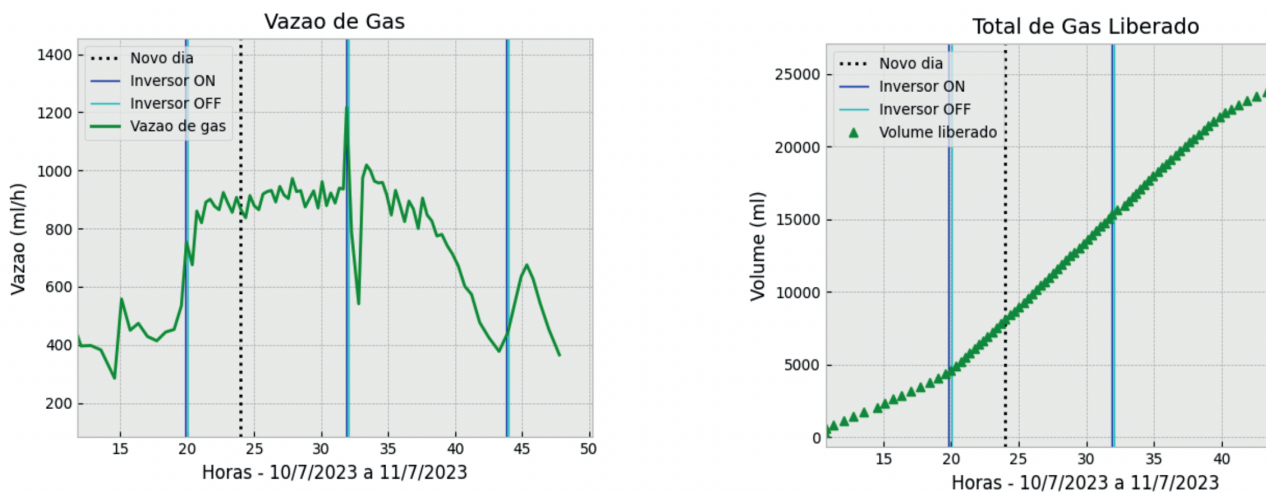


Figura 3. (a) Vazão medida de biogás e (b) produção acumulada de biogás (entre 10/7/2023 e 11/7/2023).

É possível observar na Figura 3 que foi realizada a alimentação do reator, antes das 15h do dia 10/7/2023, por causa do súbito aumento de geração de biogás. Além disso, é possível visualizar com frequência uma elevação da vazão de gás concomitantemente com a ativação da agitação do inóculo. Isso pode ocorrer pela liberação de gases antes presos no substrato do biodigestor, em virtude da movimentação de seu conteúdo. Na Figura 3b, é mostrado o acumulado de gás liberado ao longo dos dias 10/7/2023 e 11/7/2023. É visível um intervalo de tempo entre 20h do dia 10/7/2023 e 15h do dia 11/7/2023 em que a vazão de gás é aproximadamente constante.

Conclusão

O biodigestor foi montado e operacionalizado de forma a manter um inóculo reprodutível ao longo do tempo, para que todos os experimentos subsequentes possam ser comparáveis entre si. Além disso, o biodigestor foi montado com partes de baixo custo, como o Arduino, e equipamentos já presentes no laboratório.

Referências bibliográficas

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Potencial energético dos resíduos agropecuários**. Brasília, DF, 2019. (Informe Técnico: Séries SI Energia). Disponível em: <https://shorturl.at/aACGO>. Acesso em: 28/07/23.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. do (Ed.). **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019.

LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARAES, D. P. (Ed.). **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: cenário histórico, divisão política, características demográficas, socioeconômicas e ambientais**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1.

SCOLARI, D. D. G. **Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil**. In: VISÃO progressista do agronegócio brasileiro. Brasília, DF: Fundação Milton Campos, 2006. p. 9-86. (Revista da Fundação Milton Campos, v. 25).