

## Caracterização de biorreatores aplicados à geração de biogás

### Characterization of bioreactors applied to the biogas generation

#### RESUMO

O crescimento populacional trouxe um aumento no consumo de produtos de origem animal. Como consequência, houve um aumento na geração de resíduos. O descarte incorreto de dejetos animais pode acarretar na contaminação do solo, bem como das águas, devido ao excesso de nutrientes. Deste modo, como uma das alternativas que visam tratar tais resíduos, tem-se a digestão anaeróbia. Sendo assim, o do presente trabalho foi, por meio de uma revisão bibliográfica, identificar e caracterizar os tipos de reatores utilizados para digestão anaeróbia e geração de biogás. Dentre os principais utilizados no país estão, o biodigestor BLC, que não possui sistema de agitação e aquecimento, o biodigestor tipo UASB, que possui como principal característica possuir um separador trifásico, por isto, há um menor acúmulo de lodo de fundo, quando comparado ao BLC. Ambos são projetados para baixos níveis de concentração de sólidos, além do biodigestor CSTR, que é projetado para efluentes com elevada concentração de sólidos e possui sistema de agitação e aquecimento. Por fim, os biodigestores possuem características individuais e são projetados para diferentes necessidades e condições.

**PALAVRAS-CHAVE:** Digestão anaeróbia. Resíduos animais. Biodigestor.

#### ABSTRACT

Population growth has led to an increase in the consumption of animal products. As a consequence, there was an increase in the generation of animal waste. Incorrect disposal of animal waste can lead to soil and water contamination due to excess nutrients. Thus, as one of the alternatives that aim to treat such waste, there is anaerobic digestion. Thereafter, the present work was, through a bibliographic review, to identify and characterize the reactors types used for anaerobic digestion and biogas generation. Among the main ones used in the country are the BLC, which does not have a stirring and heating system, the UASB, whose main characteristic is to have a three-phase separator, therefore, there is a lower accumulation of bottom sludge, when compared to the BLC. Both are designed for low levels of solids concentration, in addition to the CSTR, which is designed for effluents with a high solids concentration and has a stirring and heating system. Finally, biodigesters have individual characteristics and are designed for different needs and conditions.

**KEYWORDS:** Anaerobic digestion. Animals waste. Environmental impacts.

**Gabriela de Quadros**  
[Gabrieladequadros09@gmail.com](mailto:Gabrieladequadros09@gmail.com)  
[ail.com](http://ail.com)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil.

**Marcelo Bortoli**  
[Marcelobortoli@utfpr.edu.br](mailto:Marcelobortoli@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil.

**Recebido:** 19 ago. 2020. **Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autorial:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

Desde o início da sociedade o ser humano busca sua sobrevivência por meio da extração de recursos naturais, do plantio de alimentos e da criação de animais. Estas ações, inicialmente, por serem realizadas em pequena escala, resultaram em um impacto mínimo ao ambiente, porém, atualmente devido ao crescimento populacional é possível identificar um aumento proporcional ao consumo alimentício, como por exemplo, de carnes e derivados de leite. (ZANOTELLI, 2002, p. 01)

Como consequência do aumento da criação, abate e posteriormente o consumo destes produtos de origem animal, identificou-se uma maior geração de resíduos. A adesão de sistemas confinados, que visam reduzir os custos de produção e aumentar a eficiência dos processos, tem levado a um aumento na produção de dejetos, o que, conseqüentemente, faz com que os problemas ambientais também se intensifiquem. (KUNZ; OLIVEIRA, 2006, p. 28)

Ao ser aplicado diretamente no solo ou armazenados em lagoas sem revestimento impermeabilizante estes resíduos líquidos podem sobrecarregar a capacidade de filtração e retenção de nutrientes do solo. O resultado disto é a contaminação de águas subterrâneas e/ou superficiais (OLIVEIRA, 1993. p. 32).

Neste sentido, como uma das alternativas que visam tratar os dejetos e minimizar a difusão destes problemas ambientais, surgiu a digestão anaeróbia (COUTINHO, 2013, p. 01). O processo que ocorre naturalmente na natureza, é realizado de forma controlada em um reator, chamado biodigestor. Existem diversos tipos de biodigestores em suas diferentes configurações, os modelos mais encontrados no Brasil são o Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC), o UASB - do inglês *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* - e o biodigestor CSTR - do inglês *Continuous Stirred Tank Reactor*. O critério para a escolha do reator apropriado é de acordo com as características do resíduo a ser tratado (NOVAK, *et al.*, 2016, p. 51).

Portanto, tendo em vista os impactos ambientais oriundos da destinação incorreta de resíduos animais, e sabendo que a produção de biogás é uma ferramenta importante para minimização desta problemática, o presente trabalho teve como objetivo, por meio de uma análise literária identificar e caracterizar cada um dos tipos de reatores utilizados para a geração do biogás.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão, e consiste em uma revisão bibliográfica, em revistas acadêmicas científicas disponíveis on-line e em periódicos, bem como em versões impressas, e também o uso da base de dados da UTFPR, tendo em vista que, o referido tema surge como alternativa para minimização de diversos problemas ambientais.

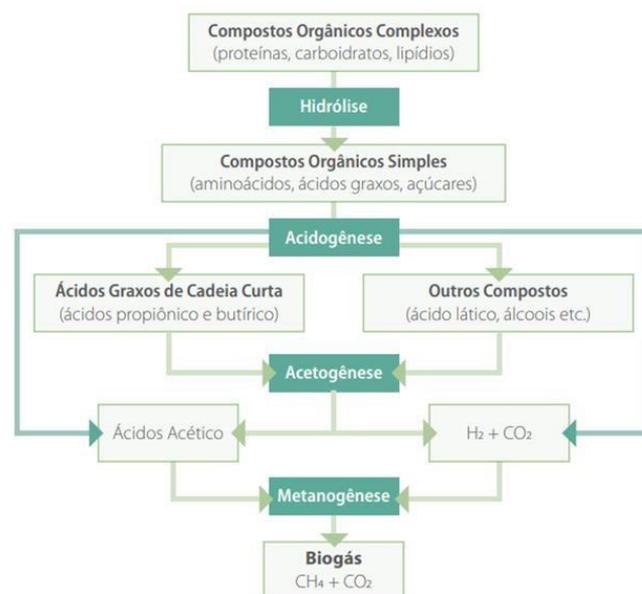
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de degradação da matéria orgânica, que ocorre de forma natural, no entanto, em reatores controlados, por meio do ajuste de alguns parâmetros, pode ser otimizado ou potencializado. Esta degradação pode acontecer, basicamente, por meio de dois processos diferentes, o processo aeróbio e o processo anaeróbio. (NOVAK *et al.*, 2016, p. 51)

O processo de digestão anaeróbia consiste na degradação biológica de material orgânico na ausência de oxigênio. Um grupo de microrganismos degrada a matéria orgânica produzindo uma mistura de gases, com cerca de 50 a 70 % de metano e 30 a 50 % de dióxido de carbono. A essa mistura de gases se atribuiu o nome de biogás. O biogás gerado pode ser purificado por meio de diversos métodos, a fim de enriquecer a proporção de metano. Esses métodos incluem filtração por membrana, absorção e adsorção. A purificação do biogás tem como objetivo aproximar o biogás as características do gás natural, muitas vezes com concentração de metano acima de 95%. (MILANEZ *et al.*, 2018, p. 228)

Visando aprimorar os conhecimentos referentes ao processo de digestão anaeróbia, sabe-se que esse processo pode ser dividido em quatro etapas principais, hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, (NOVAK *et al.*, 2016, p. 52), conforme pode-se observar na Figura 1.

Figura 1 – Esquema das etapas bioquímicas presentes nos processos de biodigestão anaeróbia.



Fonte: NOVAK *et al.*, 2016, p. 52.

A primeira delas é a hidrólise de materiais complexos, nesta o material orgânico complexo, como proteínas, lipídeos e carboidratos são transformados em material orgânico simples solúvel, como aminoácidos, glicose e álcoois, por meio da hidrólise enzimática de bactérias hidrolíticas (NOVAK *et al.*, 2016, p. 52).

Na segunda etapa ocorre à produção de ácidos pelas bactérias anaeróbicas e facultativas (bactérias acetogênicas sintróficas associadas às bactérias utilizadoras

de hidrogênio), elas convertem os compostos orgânicos solúveis em ácidos, como os ácidos butírico e láctico. Em uma próxima etapa, dos ácidos formados anteriormente são obtidos ácido acético, dióxido de carbono e hidrogênio (precursores do biogás), por meio da ação de bactérias fermentativas acetogênicas (NOVAK *et al.*, 2016, p. 52).

Na última etapa ocorre metanogênese, quando os microrganismos metanogênicos, estritamente anaeróbios, geram o metano a partir do ácido acético ou do hidrogênio e dióxido de carbono. Os metanogênicos hidrogenotróficos produzem metano a partir de hidrogênio e de dióxido de carbono. Os metanogênicos acetoclásticos, geram biogás a partir da redução de ácido acético (NOVAK *et al.*, 2016, p. 52).

Toda essa transformação, de dejetos a biogás, ocorre em um reator, chamado de biodigestor, que, essencialmente, são reatores anaeróbios, e dentre os principais reatores utilizados para a geração do biogás no país está o Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC) em formato tubular, usualmente chamado de canadense, o biodigestor de fluxo ascendente como o tipo UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, e os reatores de mistura completa como o Biodigestor CSTR - *Continuous Stirred Tank Reactor* (KUNZ *et al.*, 2019, p. 43).

### BIODIGESTOR DE LAGOA COBERTA - BLC

O biodigestor de lagoa coberta (BLC) consiste em um tanque, normalmente escavado no solo, revestido e coberto por materiais sintéticos impermeabilizantes, como policloreto de vinil (PVC) ou de polietileno de alta densidade (PEAD). O formato da base pode ter diferentes conformações, no entanto, na maioria das vezes, é de formato retangular. A seção trapezoidal também é o formato mais comum, e a inclinação do talude varia entre 45 e 60 ° dependendo da estrutura do solo, (FEAM, 2015, p. 44). Na Figura 2 pode se observar a seção longitudinal de um BLC.

Figura 2 – Representação da visão interna de um reator modelo lagoa coberta.



Fonte: KUNZ, 2019, p. 43.

Devido ao fato deste não possuir sistema de aquecimento, nem de agitação, é possível encontrar referências a este modelo como tubular, onde devido suas características físicas e o regime de alimentação semicontínuo, geram configurações de fluxo que variam entre laminar e pistonado. Outra característica do BLC é a necessidade de um elevado tempo de retenção hidráulica (TRH), que é

o tempo em que o substrato permanece no interior do biodigestor o que aumenta o requisito de área para instalação (KUNZ *et al.*, 2019, p. 43).

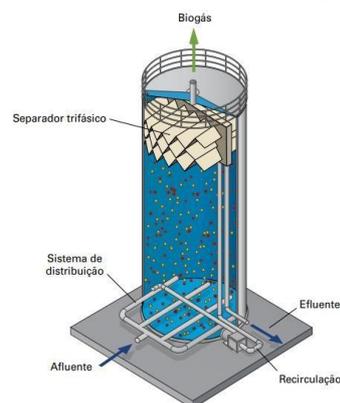
A falta do sistema de aquecimento culmina em implicações na capacidade de geração do biogás, visto que ocorre uma variação de temperatura da biomassa em função da temperatura ambiente. Os reatores do tipo BLC tende a acumular lodo no fundo dos tanques, principalmente, quando os efluentes são compostos por materiais inorgânicos, como sólidos fixos, que além de não contribuírem para a produção de biogás acabam por causar o assorear do biodigestor (KUNZ *et al.*, 2019, p. 44).

Em função de suas características construtivas, baixo índice tecnológico, e potencial de acúmulo de sólidos, este tipo de reator se aplica a substratos orgânicos com baixa concentração de sólidos fixos e sólidos voláteis com alta biodegradabilidade pelo processo de digestão anaeróbia, sendo utilizados para tratamento de resíduos da agropecuária e indústria de alimentos, com um prétratamento para remoção de sólidos. (FEAM, 2015, p. 47)

### UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET – UASB

Os biodigestores do tipo UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* - consistem em uma coluna de escoamento ascendente do afluente, composta de uma zona de digestão, uma zona de sedimentação, e um separador trifásico no topo do reator, ou seja, o afluente entra pelo fundo do biodigestor e todo o processo ocorre de baixo para cima, até o topo do reator (KUNZ *et al.*, 2019, p. 48). Na figura a seguir (Figura 3), é apresentado um reator tipo UASB com alguns aspectos construtivos e a esquematização do seu funcionamento.

Figura 3 – Esquema de funcionamento de um biodigestor do tipo UASB.



Fonte: FEAM, 2015, p. 48.

O efluente passa por três fases dentro do reator tipo UASB. No fundo tem-se uma área onde são depositadas as partículas sólidas e onde se encontra a maior parte do material biológico, que fica em contato com o material orgânico, promovendo a grande parte da degradação. No topo do reator se observa uma sobreposição de calhas, chamadas de separador trifásico. Nesse ponto é realizada a coleta do biogás, mas também realiza a separação das partículas sólidas da fração

líquida, assim garantindo menor perda de material sólido, diminuindo a perda de biomassa (PENA, 2016, p. 18).

O gás gerado é expelido na parte superior do reator. O lodo e o líquido contendo sólidos em suspensão escoam através da abertura entre as placas do separador trifásico, atingindo a zona de sedimentação. Após, os sólidos em suspensão, por meio das paredes do separador interno, que são inclinadas e impedem que os mesmos sejam arrastados para fora do sistema. O lodo, posteriormente, é tratado e deixa o sistema por transbordamento em calhas coletoras situadas no topo do reator (PENA, 2016, p. 18).

Esta tecnologia processa efluentes com elevada concentração de matéria orgânica, e possui como vantagem o baixo custo para construção, baixa produção de lodo, elevada estabilidade em situações de variações das características das águas residuárias e alta capacidade de retenção de biomassa em seu interior. (PENA, 2016, p.19).

### CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR - CSTR

Os reatores CSTR foram desenvolvidos para a digestão anaeróbia de substratos mais densos, de característica líquida a pastosa e com um teor de sólidos totais (ST) de até 20%. Geralmente estes são empregados em resíduos das produções agropecuárias e das agroindustriais, e para tratamento de lodos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário. (FEAM, 2015, p. 39)

De acordo com as características do substrato, é necessário realizar um prétratamento, que pode ser a triagem, trituração ou diluição. Estes processos se tornam necessários, pois visam homogeneizar o tamanho médio das partículas, evitando a formação de zonas com diferentes concentrações de matéria orgânica no interior do reator (FEAM, 2015, p. 40).

O interior do reator é mantido homogeneizado através da ação de agitadores mecânicos, que pode ser posicionados no fundo do reator, lateralmente ou tangencialmente. Os agitadores tangenciais são os mais comuns nesse tipo de reator, principalmente pelo fato de que somente o eixo e a hélice ficam inseridos no reator, facilitando a manutenção e aumentando a vida útil quando comparados com os agitadores de fundo (FEAM, 2015, p. 42). A seguir, na Figura 4, está representado o CSTR de uma planta de biogás.

Figura 4 – Biodigestor CSTR de uma planta de biogás.



Fonte: FEAM, 2015, p. 44.

Os reatores CSTR podem ser construídos de diversos materiais como aço carbono com proteção contra corrosão, aço inox, aço vitrificado ou concreto armado impermeabilizado em suas paredes e o fundo normalmente de concreto. Sua estrutura vertical pode ser posicionada sobre o solo, enterrada por completo ou parcialmente (FEAM, 2015, p. 41).

A cobertura superior do reservatório é uma das partes mais importantes, pois ela deve atender as condições necessárias que o sistema transcorra sem complicações. Portanto, para esta é comum a utilização de tetos de membranas e de concreto. As membranas servem como acumuladores do gás gerado no reator, e podem ser sistemas de membranas duplas ou simples (FEAM, 2015, p. 41).

Dentre suas vantagens é possível citar o processo mais eficiente e mais compacto, melhor controle operacional e produção de biogás estável. Estes também possuem vida útil de instalação civil entre 15 a 20 anos. Para a operação de reatores anaeróbios do tipo CSTR mantém se o TRH em valores acima de 15 dias, podendo variar a depender da biodegradabilidade do material a ser degradado (FEAM, 2015, p. 51).

## CONCLUSÃO

Concluiu-se que a digestão anaeróbia com a geração e utilização de biogás, além de alternativa para minimização de problemas ambientais do descarte incorreto de dejetos animais oferece a possibilidade de energia limpa através do uso do biogás. Além disso, foi possível observar que a digestão anaeróbia pode ser realizada de diferentes formas em diferentes reatores.

Ordenando-os de acordo com seu nível tecnológico, pode-se classificar o BLC como o biodigestor de menor nível, visto que este não possui sistema de agitação e aquecimento, possui fluxo laminar e pistonado, e é projetado para baixos níveis de concentração de sólidos totais, havendo grande acúmulo de lodo no fundo do reator.

O reator UASB está em uma posição intermediária, a pesar de não possuir aquecimento, já se tem a presença de um separador trifásico, por isto, um menor acúmulo de lodo ao fundo.

E por fim o reator de maior nível tecnológico é o CSTR, este é projetado para efluentes com elevada concentração de sólidos, de característica líquida a pastosa e possui sistema de agitação. Portanto, os biodigestores possuem suas características individuais, bem como cada um é projetado para diferentes necessidade e condições

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa deste projeto de iniciação científica, e ao Prof. Dr. Marcelo Bortoli, pela orientação na condução do projeto.

## REFERÊNCIAS

COUTINHO, L. S. F. **Avaliação do potencial de geração de biogás de amostras de resíduos de diferentes profundidades retiradas do aterro metropolitano de Jardim Gramacho.** XXI SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PUC-RIO. Pontifícia Universidade Católica (PUC). Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 2013. Disponível

em: [http://www.pucio.br/pibic/relatorio\\_resumo2013/relatorios\\_pdf/ctc/CIV/CI\\_VLauro%20Santana%20Freire%20Coutinho.pdf](http://www.pucio.br/pibic/relatorio_resumo2013/relatorios_pdf/ctc/CIV/CI_VLauro%20Santana%20Freire%20Coutinho.pdf). Acesso em: 04 ago. 2020.

Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM. **Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria.** Minas Gerais, 158 p. 2015. Disponível em [http://www.feam.br/images/stories/2015/PRODUCAO\\_SUSATENTAVEL/GUIASTE\\_CNICOS-AMBIENTAIS/Guia\\_Biog%C3%A1s.pdf](http://www.feam.br/images/stories/2015/PRODUCAO_SUSATENTAVEL/GUIASTE_CNICOS-AMBIENTAIS/Guia_Biog%C3%A1s.pdf). Acesso em: 12 ago. 2020.

KUNZ, A. et al. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato.** Concórdia: SBERA: Embrapa Suínos e Aves. Santa Catarina. 2019. 209 p. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1108617>. Acesso em: 11 ago, 2020.

KUNZ, A, OLIVEIRA, P. A. V. **Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás.** REVISTA DE POLÍTICA AGRÍCOLA. Ano 15. nº 3 – jul./ago./set. p 28-35. 2006. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/121642/1/Paginasdepolagr0320064p.2835.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020.

MILANEZ, A. Y. et al. **Biogás de resíduos agroindustriais: Panorama e perspectivas.** BNDES Setorial 47. p. 221-276. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15384?&locale=pt\\_BR](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15384?&locale=pt_BR). Acesso em: 11 ago. 2020.

NOVAK, A. C. et al. **Oportunidades da cadeia produtiva de biogás para o estado do Paraná.** Senai - PR – Departamento Regional do Paraná. Curitiba. 144 p. 2016. Disponível em: [https://www.sistemafiep.org.br/relacoesinternacionais/uploadAddress/Biogas\[73656\].pdf](https://www.sistemafiep.org.br/relacoesinternacionais/uploadAddress/Biogas[73656].pdf). Acesso em: 05 ago. 2020.

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993. 188p. (EMBRAPA-CNPS, Documentos, 27). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/434003/manual-de-manejo-e-utilizacao-dos-dejetos-de-suinos>. Acesso em: 05 ago. 2020.

PENA, J. S. F. **Caracterização e tratabilidade do efluente gerado em indústrias de refrigerantes empregando reator UASB**. Dissertação (Mestrado) - IFECT do Triângulo Mineiro – Campus Uberaba. Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Uberaba, MG. 42 p. 2016. Disponível em: [www.iftm.edu.br/visao/loader\\_anexo\\_cursos.php%3Fsrc%3D250517100228\\_38\\_-\\_juliana\\_saraiva\\_fiochi\\_pena.pdf+%&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br](http://www.iftm.edu.br/visao/loader_anexo_cursos.php%3Fsrc%3D250517100228_38_-_juliana_saraiva_fiochi_pena.pdf+%&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br). Acesso em: 13 ago. 2020.

ZANOTELLI, C. T. **Modelagem matemática de Nitrogênio e Fósforo em lagoas facultativas e de aguapés para tratamento de dejetos de suínos**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Programa de pós-graduação em engenharia de produção. Florianópolis, SC. 180 p. 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/83108/183648.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 ago. 2020.