

EMPREGO DE BIODIGESTORES ANAERÓBIOS NO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS ANIMAIS E CONTROLE DA POLUIÇÃO AMBIENTAL

SOUZA, Maria Luiza Borges; LAGE FILHO, Frederico de Almeida

malubsouza@gmail.com

Centro de Pós-Graduação Oswaldo Cruz

Resumo: *A crescente escassez de áreas para a disposição de resíduos sólidos e a poluição causada pelo manejo inadequado de material orgânico requerem o desenvolvimento e implantação de biotecnologias limpas, de modo a proteger a saúde pública e minimizar impactos ambientais diversos. Tendo em vista que o Brasil é um grande produtor agropecuário e que diversas regiões do país ainda apresentam um significativo déficit sanitário com relação ao gerenciamento de resíduos orgânicos, o presente estudo visa avaliar o emprego de biodigestores anaeróbios para o gerenciamento de resíduos de origem animal. De tecnologia simples e barata, verificou-se uma série de vantagens obtidas através do uso de biodigestores anaeróbios. Dependendo da quantidade de resíduo a ser tratado e das necessidades e condições locais, o emprego de biodigestores se mostra eficaz no controle da contaminação do solo e dos recursos hídricos, bem como para a descentralização da geração de energia, reduzindo custos com petróleo e fertilizantes químicos. O processo de digestão anaeróbia gera um biogás de alto poder calorífero e lodo estabilizado biologicamente que pode ser utilizado como biofertilizante.*

Palavras-Chave: *Biodigestores anaeróbios. Gerenciamento de resíduos sólidos. Biogás. Biofertilizante. Saneamento ambiental.*

Abstract: *The growing scarcity of disposal areas for solid wastes and the pollution caused by incorrect management of organic materials require the development and implementation of clean biotechnologies to protect the public health and mitigate environmental impacts. Since Brazil is an enormous agricultural & meat producer and that several regions in the country show a significant sanitary deficit regarding organic waste and pollution management, this work evaluates the utilization of anaerobic biodigesters for animal origin organic waste management. Their technology is simple and inexpensive and presents a series of advantages. Depending on the amount of residues to be treated and on the local conditions and needs, the utilization of biodigesters show efficacy in the control of contamination of soil and water resources, as well as the attractiveness of energy generation decentralization, with consequent reduction of expenses with fossil fuels and chemical fertilizers. Anaerobic digesters generate a highly calorific biogas and a biologically stabilized sludge or biomass that can be employed as biofertilizer.*

Keywords: *Anaerobic digesters. Solid waste management. Biogas. Biofertilizer. Environmental sanitation.*

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT (2009), a agropecuária é uma das atividades econômicas de maior importância no Brasil. Devido à sua grande extensão de terras agricultáveis e disponíveis para pastagem, o país destaca-se quanto à produção deste setor, porém tal atividade também é responsável por grande parte das emissões de gases de efeito estufa, em especial, o metano (CH₄).

As emissões globais de CH₄ provenientes dos sistemas de manejo de dejetos são estimadas em 25 milhões de toneladas anuais, correspondendo a 7% das emissões totais (IPCC, 1995). O Brasil, em 1995, contribuiu com cerca de 385 mil toneladas, sendo que deste total, a pecuária bovina apresentou os valores mais expressivos (EMBRAPA, 2006, p.52), contribuindo com aproximadamente 70% das emissões.

O uso do biogás como fonte de energia ainda é inexpressivo, totalizando apenas 78 MW de capacidade instalada, o qual representa 0,06% da matriz energética Brasileira (ANEEL, 2012). Considerando a significativa produção agropecuária brasileira, com mais de 169 milhões de cabeças (IBGE, 2006), o maior rebanho bovino do mundo com fins comerciais, vê-se que o atual aproveitamento do biogás no Brasil a partir dos resíduos da atividade agropecuária encontra-se bastante aquém do seu potencial (ZANNETTI, 2009).

Diante deste cenário, a legislação brasileira vem se destacando no que tange ao gerenciamento de resíduos sólidos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei 12.305 de 02 de Agosto de 2010, preconiza o aproveitamento energético dos resíduos e o desenvolvimento de tecnologias limpas como forma de minimizar os impactos ambientais. Os resíduos passam a agregar valor econômico, devendo ser prioritariamente reciclados ou reutilizados em outras cadeias produtivas, reduzindo, assim, os custos com destinação, a demanda por matérias primas e energia e os impactos ambientais.

Outro diploma legal que vem de encontro ao aproveitamento energético de resíduos animais é a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC (Lei N° 12.187 de 29 de Dezembro de 2009). De acordo com seu artigo 12, para que os objetivos da PNMC sejam alcançados, o País deverá adotar ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, com vistas em reduzir entre 36,1 % e 38,9 % suas emissões projetadas até 2020.

Collato e Langer (2011) apontam o biodigestor como uma tecnologia viável para o gerenciamento dos resíduos animais, na medida em que contribui para a redução da capacidade poluidora de fezes e do volume diário produzido, além de auxiliar na destinação ambientalmente adequada dos dejetos e ser uma fonte de energia renovável.

Os biodigestores também podem controlar a emissão de gases de efeito estufa tais como o CO₂ e o metano, na medida em que o processo de digestão anaeróbia se desenvolve em meio fechado, havendo a possibilidade de recuperação dos gases. Muitos esforços também vêm sendo observados no intuito de controlar a descarga de efluentes nos corpos d'água e a contaminação dos lençóis freáticos, já que cerca de 20% desses resíduos são aplicados aos solos, gerando a formação de óxido nitroso (N₂O). Assim, projetos de aproveitamento do metano como fonte de energia e como forma de combater a poluição ambiental deveriam ser mais estudados (LIMA, 2002).

Nesse contexto, o presente trabalho visa discutir o aproveitamento energético do biogás gerado através da recuperação das emissões de metano provenientes de resíduos animais, tendo em vista a inclusão de novas fontes de energia alternativa na matriz energética brasileira, bem como a mitigação dos impactos ambientais causados pela agropecuária.

2 HISTÓRICO: EMPREGO DE BIODIGESTORES NO BRASIL E NO MUNDO

A crise do petróleo na década de 70 e a crescente preocupação das nações com a poluição e as mudanças climáticas, levaram os países dependentes desse combustível a debaterem sobre o uso de fontes renováveis de energia como forma de substituir a energia fóssil. Desta forma, a partir de 1976, estudos relativos ao aproveitamento de biogás foram intensificados em diversos países, tendo em vista a produção de energia a baixo custo (DEGANUTTI *et al.*, 2002, p.1).

Os modelos de biodigestores mais difundidos no mundo foram desenvolvidos e aperfeiçoados na China e na Índia. Nas décadas de 50 e 60, no auge da Guerra Fria, a China comunista optou por uma política de descentralização energética, visando tornar autossuficientes pequenas vilas e centros agrícolas, enquanto que os indianos, assolados pela miséria e sem autossuficiência em petróleo, foram obrigados a utilizar seus conhecimentos para suprir a carência de fome e energia (BARREIRA, 2011, p. 17).

No Brasil, as pesquisas para a utilização do biodigestor ganharam impulso na década 80 e foram realizadas principalmente na região sul, onde se concentram grandes criadores de suínos, aves e bovinos. Entretanto, foi na região nordeste que houve interesse dos pesquisadores em aproveitar a biomassa gerada nas pequenas e médias propriedades rurais, devido ao clima quente (temperaturas médias anuais acima de 25°C), que favorece o desenvolvimento e atividade dos microorganismos anaeróbios.

2.1 EVOLUÇÃO HIDRÁULICA DE REATORES ANAERÓBIOS

A digestão anaeróbia ocorre em diversos ecossistemas naturais, como no rumem de bovinos e em sedimentos aquáticos de lagos. Com o intuito de reproduzir esses fenômenos de forma compacta foram criados os ecossistemas artificiais, conhecidos como reatores anaeróbios (CETESB, 2006).

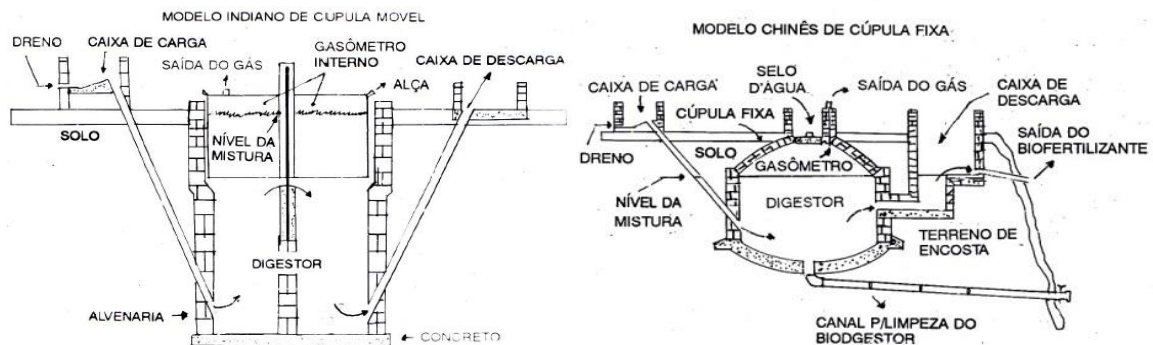
Inicialmente os reatores anaeróbios foram concebidos para tratar resíduos semissólidos como estrume de animais, lixo doméstico e para a estabilização de lodos provenientes dos tratamentos primários e secundário de efluentes. Denominados reatores convencionais de baixa taxa, constituem-se de tanques simples, sem recirculação de lodo e com tempos de retenção variando de 15 a 60 dias.

Os tanques Imhoff, desenvolvidos em 1920 por Karl Imhoff, eram constituídos por uma câmara de decantação na parte superior e câmara de digestão de lodo na parte inferior. Foram inicialmente utilizados como única unidade de tratamento de esgotos, porém, acabaram sendo substituídos por outros sistemas anaeróbios mais econômicos e de maior eficiência.

Os modelos de tanques anaeróbios chineses e indianos, da década de 50, resultaram em grande difusão da aplicação de biodigestores como forma de tratar os dejetos animais, obter biogás e ainda conservar o efeito fertilizante do produto (NOGUEIRA, 1986).

O biodigestor modelo indiano é constituído por uma cúpula móvel, de metal, onde fica armazenado o biogás gerado pela fermentação. Na medida em que a cúpula se enche de biogás, a mesma vai subindo em torno de uma guia de metal, funcionando como um gasômetro, já que pelo seu próprio peso, a cúpula acaba imprimindo certa compressão no gás estocado. Já o modelo chinês, mais simples e econômico, possui cúpula fixa, de alvenaria, guarnecida por uma válvula, que é composta por uma tampa e pressionada por um depósito de água (vide Figura 1). A produção de biofertilizante é a mesma nos dois modelos, porém a capacidade de aproveitamento do gás é menor no modelo chinês (BARREIRA, 2011, p. 20).

Figura 1 - Perfil esquemático de biodigestores modelos indiano e chinês.



Fonte: Barreira, 2011

A partir da década de 70 surgiu uma nova concepção de reatores anaeróbios (CETESB, 2006). Ela se baseia no princípio de acúmulo de biomassa dentro do reator, pela sua retenção ou recirculação. Assim, o tempo de retenção do líquido é diferente e independente do tempo de retenção do lodo, possibilitando o tratamento de efluentes em tempo de retenção hidráulica reduzida (3 horas a 5 dias). São os reatores de alta taxa, destacando-se os reatores anaeróbios de fluxo ascendente, os filtros anaeróbios e os reatores de leito fluidizado.

O reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) retém biomassa através de um decantador localizado no topo do reator e os gases são separados por defletores localizados na base dos decantadores. Através do escoamento ascensional do afluente passando pela camada de lodo, assegura-se uma grande área de contato entre o material orgânico e a microbiota ativa. A estabilização da matéria orgânica ocorre na zona da manta de lodo, não havendo a necessidade de dispositivos de mistura, pois esta é promovida pelo fluxo ascensional e pelas bolhas de gás geradas. Destaca-se pela sua simplicidade e a não necessidade de material de enchimento. Foi um dos primeiros reatores a atingir altas taxas de aplicação de matéria orgânica, despertando grande interesse nas pesquisas por novos reatores anaeróbios.

Os filtros anaeróbios possibilitam o acúmulo de biomassa, através de um leito fixo. O material filtrante é o responsável pela retenção do lodo e pelo desenvolvimento de microrganismos, que se agrupam na forma de flocos ou grânulos, nos interstícios deste material. O fluxo através do meio filtrante, e do lodo ativo, confere alta eficiência aos filtros anaeróbios. Podem ser utilizados vários materiais para enchimento dos filtros, dando preferência àqueles inertes, que dificultem a obstrução e que sejam viáveis economicamente.

O reator de leito fluidizado utiliza material de enchimento inerte, como areia, que agrega biomassa e proporciona grande área de contato. A biomassa se mantém fluidizada através da velocidade ascensional do líquido. Esses reatores requerem um bom controle operacional.

Quanto mais complexo o sistema de tratamento, maior é a sua eficiência, porém mais complexo também se torna sua operação, limpeza e manutenção (LAGE FILHO, 2012). Por isso, dada à tecnologia simples e facilidade de construção e operação dos modelos de biodigestores indianos e chineses, estes são os mais utilizados no Brasil em propriedades rurais, para o tratamento de dejetos animais.

3 BIODIGESTORES: VANTAGENS DO PROCESSO ANAERÓBIO

O biodigestor é um reator biológico de concepção relativamente simples e barato de ser construído. Estando aterrado no solo, o que é prática comum, não requer grandes áreas para a sua instalação, além de não competir pela posse de terra com as culturas alimentares e ser de fácil operação e manutenção. Por operar na ausência de oxigênio, seu uso traz uma série de outras vantagens, elencadas a seguir (WILKIE, 2004):

- a) Não implica em altos custos com aeração;
- b) Não demanda consumo de energia elétrica, uma vez que dispensa o uso de bombas, motores, aeradores, painéis elétricos etc.
- c) Contribui com o gerenciamento de resíduos sólidos e efluentes, já que além de dejetos animais, outras fontes de origem orgânica como efluentes domésticos, lodo sanitário, resíduos sólidos urbanos e agrícolas, podem ser utilizados para abastecer o biodigestor;
- d) Minimiza gastos com a destinação de resíduos e contribuí com o aumento da vida útil de aterros sanitários;
- e) Estabiliza os sólidos do esterco e produz baixo volume de lodo (cerca de 5 a 10 vezes inferior em relação aos processos aeróbios);
- f) Reduz a quantidade de microorganismos patogênicos e a carga orgânica contaminante de solos e mananciais;
- g) Impede que gases de efeito estufa, em especial o metano, 21 vezes mais poluente que o gás carbono, seja liberado na atmosfera, gerando créditos de carbono;
- h) Previne a liberação de odores e a proliferação de insetos;
- i) Tem como um dos produtos finais do processo um biofertilizante, efluente que pode ser comercializado e/ou utilizado como fertilizante orgânico e na produção de ração animal.
- j) Melhora o valor fertilizante do esterco através da mineralização de nitrogênio orgânico em amônia, que é mais disponível para absorção pelas plantas;
- k) Produz um biogás rico em metano, combustível de elevado teor calorífico, que pode ser recuperado para a produção de energia térmica e elétrica;
- l) Os produtos gerados no processo (biogás e biofertilizante) substituem os derivados de petróleo, permitindo economia na obtenção de outras fontes de energia e fertilizantes químicos.

Na prática, o uso dos biodigestores em propriedades rurais atende a três objetivos (BARREIRA, 2011), descritos nos subitens a seguir: captação do biogás para produção de energia, grande melhoria da qualidade do esterco como fertilizante (pela estabilização da matéria orgânica e disponibilização de nutrientes) e mitigação de impactos ambientais. Embora o controle da poluição seja uma das principais causas para a construção de um biodigestor na zona rural, a energia é a parte interessante para apoiar o retorno financeiro de seu custo de instalação. E mais que uma alternativa energética, a produção de biofertilizante como substituto vantajoso dos adubos químicos deveria ser mais divulgada.

3.1 Biogás: fonte renovável de energia

A degradação microbiológica de componentes orgânicos, na ausência de oxigênio, produz o chamado biogás, uma mistura de 50% a 70% de metano (CH_4), 30 a 50% de dióxido de carbono (CO_2), além de traços de hidrogênio (H_2), amônia (NH_3) e ácido sulfídrico (H_2S), sendo que é a porcentagem de metano que confere ao biogás um alto poder calorífero (WILKIE, 2004).

A produção de biogás depende diretamente do tipo de substrato, sendo que o esterco animal conta com um grande número de microrganismos, os quais favorecem o processo de fermentação. Outros fatores como a espécie animal, época do ano e tipo de alimento fornecido também contribuem com a massa de esterco a ser gerada e conseqüentemente com a produção de biogás (Tabela 1). Uma vaca leiteira com 450 kg, por exemplo, produz em média 12 toneladas anuais de esterco (OLIVER *et al.*, 2008), equivalentes a 588 m^3 de biogás ou 3.234 kWh de energia elétrica.

Tabela 1 - Potencial de produção de biogás a partir de dejetos animais.

Espécie	m ³ de biogás – 100 kg de esterco	Equivalência energética
Caprino/ ovino	4,0 – 6,1	
Bovinos de leite	4,0 – 4,9	33 m ³ de biogás = 1 botijão de GLP
Bovinos de corte	4,0	
Suíños	7,5 - 8,9	1 m ³ de biogás – 5,5 kWh
Frango de corte	9,0	
Codornas	4,9	

Fonte: Oliver *et al.*, 2008

O desperdício de material orgânico tanto no meio urbano, quanto no rural, é imensurável. Enquanto um habitante em São Paulo produz diariamente uma média de 0,6 kg de resíduos orgânicos e 0,5 kg de lodo, um bovino fornece cerca de 4 kg de esterco. Um rebanho com dez mil cabeças de gado poderia produzir biogás para geração de energia para uma cidade de mil habitantes (1,6 m³ biogás/residência/dia) (SILVA, 1984).

Um caso de sucesso no aproveitamento do biogás para a produção de energia é o da Granja São Pedro, localizada no município de São Miguel do Iguçu, oeste do Paraná (GLOBO RURAL, 2012). A mesma vinha apresentando dificuldades em destinar o esterco e urina de sua criação de 5,2 mil suínos e, como solução dois biodigestores foram instalados na propriedade.

A energia dos dejetos passou a suprir todas as necessidades da granja, além de gerar um excedente que, atualmente, é vendido para a rede, gerando um lucro aproximado de R\$ 2,5 mil/mês. Somando os ganhos, a redução do gasto com óleo diesel e a economia gerada pelo biofertilizante, totalmente aproveitado no pasto da propriedade, os produtos do biodigestor estão trazendo melhoria de renda para a família na ordem de R\$ 120 mil/ano.

Ressalta-se que o biogás pode ser empregado para diversos outros fins além da geração de energia elétrica, como por exemplo, para alimentação de caldeiras, fornos e aquecedores, cocção e até para fins de transporte automotivo. Basta que o interessado dimensione o biodigestor à sua realidade e necessidades.

3.2 O potencial do biofertilizante

O biofertilizante é um adubo orgânico líquido que funciona como complementação da adubação orgânica natural do solo. Pode ser aplicado via pulverização foliar ou juntamente com a irrigação e fornece os nutrientes fundamentais para as plantas. Também auxilia no controle de doenças e insetos e propicia uma resposta mais rápida do que os fertilizantes tradicionais (TOMITA, 2007).

Para Silva (1984), racionalizar fertilizantes químicos é uma forma de economizar petróleo, por isso, não se pode ignorar o efluente gerado no processo de biodigestão. Além do valor econômico agregado, aspectos ambientais também devem ser levados em consideração. O manejo do solo através do uso de biofertilizantes, como substituto aos tradicionais, contribui com a mitigação da contaminação dos recursos hídricos, já que o escoamento superficial de defensivos químicos agrícolas é reduzido.

Barreira (2011) traz uma série de experiências bem-sucedidas com biofertilizantes. Dentre elas, destaca-se o caso do Grupo Sendas que, no início da década de 80, arrendou uma

antiga área de pântano na baía de Guanabara, improdutivo por mais de 50 anos, já que o solo era extremamente ácido, apresentando pH em torno de 3,5.

Nessa área, foi montada uma estação de confinamento de gado para engorda e um biodigestor, o qual começou a produzir 200 kg de biofertilizante/dia que eram, então, incorporados a terra. Em menos de um ano, o pH do solo foi estabilizado, devido à leve alcalinidade do biofertilizante (pH = 7,5), tornando-se fértil a tal ponto que passou a ser utilizado para o cultivo de hortaliças, comercializada na própria rede de supermercados Sendas. Com novas aplicações de biofertilizante, as hortaliças tornaram-se mais resistentes às pragas que outras plantadas em diferentes áreas não tratadas com o produto.

Com resultados tão positivos, construiu-se um grande biodigestor com capacidade de processar 1.400 m³ de biomassa. Aproveitando os resíduos da cadeia de supermercados para engordar os porcos, os dejetos eram utilizados para alimentar o biodigestor. O projeto passou a produzir 1.203 m³ de biogás, permitindo quase que a autossuficiência do complexo, além de 3 toneladas/dia de biofertilizante.

Cabe destacar que antes de ser aplicado ao solo, deve-se proceder a uma análise química do biofertilizante gerado e ao cálculo da dosagem a ser aplicada, de acordo com as exigências de cada espécie, a fim de não comprometer a produtividade das lavouras. Para tanto, recomenda-se a contratação de um profissional especializado na área de agronomia, já que pode haver a necessidade de uma desinfecção do biofertilizante gerado.

Pós-tratamento de biofertilizante

Segundo Lage Filho (2012), uma das desvantagens do processo anaeróbio é que a remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) é muito baixa. Daí, as significativas quantidades desses elementos no lodo estabilizado de um biorreator anaeróbio. Por outro lado, uma possível incorporação elevada de metais pesados no lodo gerado também pode se tornar um problema, na medida em que esses elementos modificam as estruturas celulares, ao substituir metais cofatores de atividades enzimáticas. Por serem de difícil degradação, os metais se acumulam nos tecidos vivos ao longo da cadeia alimentar, podendo atingir o homem por meio da alimentação ou mesmo através da manipulação inadequada do biofertilizante. Deve-se monitorar a concentração de metais pesados no mesmo.

Uma forma de manejo do biofertilizante produzido, antes de seu emprego para fins agrícolas, seria seu acondicionamento em leiras de compostagem, onde a matéria orgânica remanescente sofrerá processo de digestão aeróbia. A presença de oxigênio no sistema e o próprio poder germicida da radiação solar são eficazes na inativação de microrganismos patogênicos e na inertização oxidativa de íons de metais.

Para Nuvolari (2002), a utilização mais nobre do biofertilizante é na melhoria de solos agrícolas, desde que respeitadas as condicionantes ambientais, tipos de solos e culturas. No entanto, muitas vezes a presença de elementos potencialmente tóxicos acima dos limites permitidos, torna o seu uso inviável para esse fim. Assim, alternativas técnicas têm sido estudadas, dentre elas, destaca-se a incorporação desse lodo na construção civil, para inertização de tijolos cerâmicos.

3.3 Saneamento e mitigação de impactos ambientais

A estabilização dos dejetos através de biodigestores tem merecido destaque, em função dos aspectos sanitários. O manejo de dejetos da suinocultura, por exemplo, desenvolveu-se ao longo dos anos sem os maiores cuidados em relação ao meio ambiente, resultando que 75% das propriedades suinícolas estão em desacordo com a legislação ambiental (OLIVEIRA, 2004).

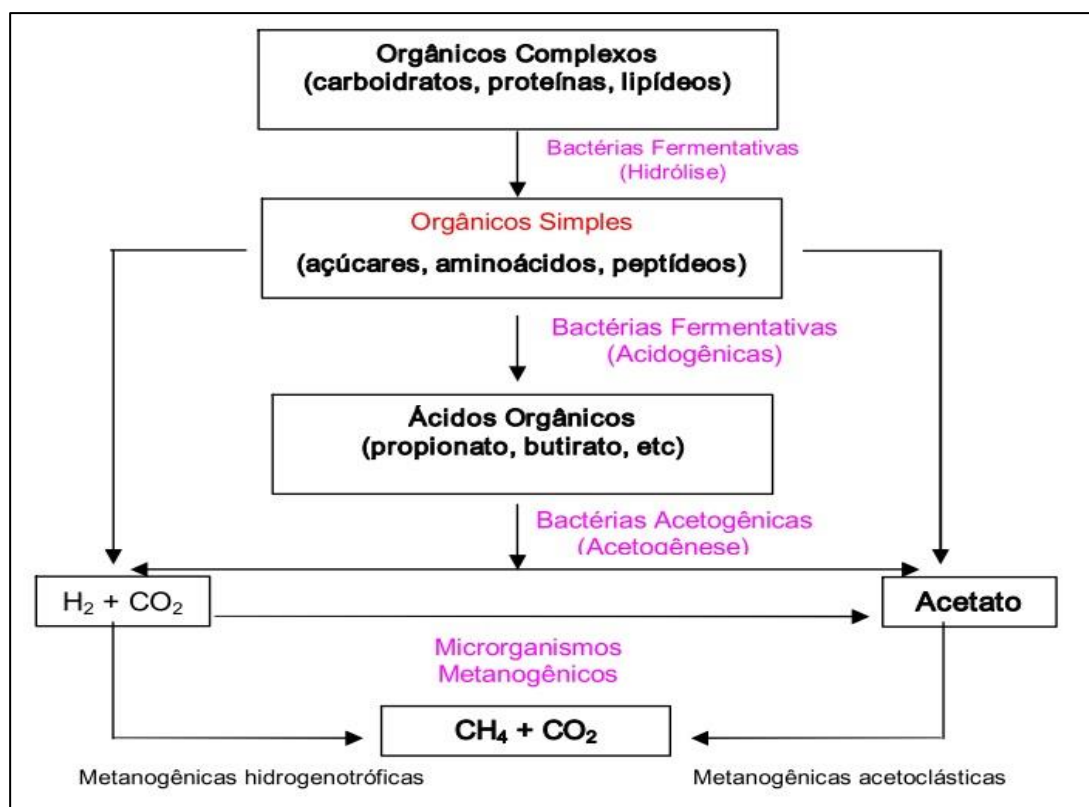
Para Souza (2005), a armazenagem de resíduos animais em lagoas ou depósitos abertos, como esterqueiras, não minimiza o poder de poluição dos dejetos, pois favorecem a produção de gases nocivos, contaminações de recursos naturais e interferem na qualidade de vida nos centros produtores.

Além de contribuírem para a proliferação de transmissores de doenças, como moscas e borrachudos, esses resíduos, quando se infiltram no solo, terminam por atingir os aquíferos que abastecem rios, nascentes de águas e poços artesianos que alimentam as granjas e populações, tanto rurais como urbanas. Contribuem ainda para o processo de eutrofização, provocando a proliferação de algas e mortandade de peixes. O envio dos dejetos para o biodigestor impede danos ao meio ambiente.

4 PRINCIPAIS FATORES DETERMINANTES PARA O FUNCIONAMENTO DE UM BIODIGESTOR

De acordo com Louzada (2006), os microorganismos responsáveis pela digestão anaeróbia da matéria orgânica apresentam um elevado grau de especialização metabólica. A eficiência do processo anaeróbio depende das interações entre as diversas espécies bacterianas, com diferentes capacidades degradativas, conforme Figura 2.

Figura 2 - Representação esquemática simplificada da digestão anaeróbia.



Fonte: Louzada, 2006

Os microorganismos que participam do processo de decomposição anaeróbia podem ser divididos em três grupos, com comportamentos fisiológicos distintos:

a) **Bactérias fermentativas:** transformam, por hidrólise, os polímeros em monômeros, e estes em acetato, hidrogênio, dióxido de carbono, ácidos orgânicos de cadeia curta, aminoácidos e outros subprodutos como a glicose;

b) Bactérias acetogênicas: são produtoras de hidrogênio, o qual converte os produtos gerados no primeiro grupo (aminoácidos, açúcares, ácidos orgânicos e alcoóis) em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono;

c) Bactérias metanogênicas: são constituídas pelo grupo das metanogênicas acetoclásticas, capazes de formar metano a partir do acetato, e pelas metanogênicas hidrogenotróficas, capazes de produzir metano a partir do hidrogênio e dióxido de carbono.

A atividade das bactérias anaeróbias exige, além do material para alimentá-las, condições ideais de operação. A taxa de digestão anaeróbia e a produção de biogás são influenciadas por diversos fatores, incluindo: características dos resíduos, tempo de retenção hidráulica, taxa de carga orgânica, modo de mistura, temperatura, pH, presença de substâncias inibidoras, modo de operação e manutenção, etc. (adaptado de CRAGGS, 2005).

4.1 Temperatura

O metano é formado na natureza em uma ampla faixa de temperaturas, que podem variar desde próximas ao congelamento até acima de 100° C. Em aplicações técnicas existem duas diferentes faixas de temperatura, distinguidas em mesofílicas (25°C a 35°C) e termofílicas (49°C a 60°C), sendo que as bactérias anaeróbias mesófilas e termófilas apresentam temperaturas ótimas variando entre 28°C e 42°C e 55°C e entre 72°C, respectivamente.

Por isso, a temperatura interna do biodigestor é fator decisivo para a produção mensal de biogás e biofertilizante, devendo ser mantida constante, em torno dos 35°C. De acordo com Barreira (2011), a construção de um biodigestor não deve ser feita em regiões sujeitas a mudanças bruscas de temperatura e variações climáticas. Durante invernos rigorosos, convém colocar uma proteção térmica no equipamento ou aquecer a carga diária, antes de lançá-la ao tanque.

A esterilização dos resíduos também está diretamente relacionada com a temperatura, já que quanto mais alta for a mesma, mais efetivo é o processo de eliminação de patógenos e vírus (MONNET, 2003).

4.2 Tempo de retenção hidráulica e taxa de carga orgânica

Wellinger (1999) descreve o tempo de retenção hidráulica como o tempo necessário para se atingir a completa degradação da matéria orgânica, variando de acordo com os parâmetros do processo, como temperatura e composição do resíduo. O tempo de retenção de resíduos animais tratados num digestor mesofílico varia de 15 a 30 dias e de 12 a 14 dias em condições termofílicas.

A taxa de carga orgânica é expressa normalmente em massa diária de DBO ou DQO por unidade de volume útil do biorreator e depende basicamente das características hidráulicas do mesmo, das características físico-químicas do despejo a tratar e de condições ambientais, como por exemplo, as temperaturas locais.

4.3 pH e substâncias inibidoras

A faixa ótima de pH para a digestão anaeróbia é de 6,8 -7,5. Condições ácidas, devido a altas concentrações de ácidos voláteis, inibem a formação de gás metano e podem cessar o processo de biodigestão. As bactérias também são sensíveis a surfactantes e outras substâncias químicas, como os sulfatos. A presença desse último pode inibir a atividade das bactérias metanogênicas pela dominância de bactérias redutoras de sulfato. Com tal inibição, há acúmulo de ácidos voláteis e consequente paralização do biodigestor, além de poder causar a corrosão dos equipamentos (MORAES, 2009).

4.4 Manutenção

O bom funcionamento de um biodigestor depende de uma boa manutenção que, apesar de simples, exige capacitação de mão-de-obra. Eventuais vazamentos ou entupimentos nos canos e mangueiras de saída de gás podem causar variações na pressão interna nos digestores, o que aumenta o risco de explosões. Além disso, pode haver a introdução de oxigênio no sistema, inibindo a atividade metanogênica. Por isso, é importante verificar periodicamente a pressão do gás, realizar teste de vazamentos e proceder com a limpeza dos tanques (BARREIRA, 2011, p. 87).

5 CONSIDERAÇÕES CONCLUSIVAS

Tendo em vista que a atividade agropecuária é expressiva em nosso país, que diversas regiões brasileiras apresentam condições sanitárias precárias e baixo perfil socioeconômico e que muitos criatórios estão em desacordo com a legislação ambiental, constata-se a necessidade da implantação de sistemas descentralizados e simplificados para a coleta e tratamento de resíduos de fontes orgânicas.

O emprego de biodigestores para tratamento de dejetos de animais vem se mostrando eficaz em diversas regiões do mundo no que tange à mitigação de impactos ambientais, à medida que reduz significativamente a contaminação do solo e dos recursos hídricos. Mas, mais do que um sistema de tratamento, o biodigestor provou ser uma alternativa ao uso das fontes não renováveis de energia, tendo em vista que o biogás gerado no processo pode ser captado para a produção de energia térmica e elétrica. Ressalta-se que no processo de biodigestão também é gerado um biofertilizante, que pode substituir parcialmente ou totalmente o uso de defensivos químicos, dependendo do tipo de solo, cultura e da finalidade de sua aplicação.

Deve-se ter em mente que o dimensionamento de um biodigestor deve estar de acordo com as necessidades da propriedade, as quantidades de animais existentes e de resíduos produzidos, a capacidade de consumo do biogás gerado e com a área disponível para aplicação do biofertilizante.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Matriz de energia elétrica**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.asp>>.

Acesso em: 08 set.2012.

BARREIRA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 2011.

BRASIL. Lei Nº 12.187 de 29 de Dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 dez. 2009.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de novembro de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 ago. 2010.

CRAGGS, R. **Where there's muck there's money**. New Zealand: National Institute of Water and Atmospheric Research, 2005.

CETESB. **Biogás: pesquisas e projetos no Brasil**. 2006. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/livro_biogas/livrobiogas.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2012.

COLLATO, L.; LANGER, M. Biodigestor: resíduo sólido pecuário para produção de energia. **Unesc & Ciência – ACET**, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119-128, jul./dez. 2011.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. do C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. **Proceedings...** [online] Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100031&lng=pt&nrm=abn>. Acesso em: 17 set. 2012.

GLOBO RURAL. **Uso do biodigestor muda a vida de uma família de produtores rurais**. 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2012/02/uso-do-biodigestor-muda-vida-de-uma-familia-de-produtores-rurais.html>>. Acesso em: 20 nov. 2012.

IBGE. **Censo agropecuário 2006: resultados preliminares**. Rio de Janeiro: IBGE, p.1-146, 2006.

IPCC. 1995. Climate Change 1994. **radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios**. Cambridge: Cambridge University Press. 339p.

LAGE FILHO, F. A. Comunicação pessoal. São Paulo: USP, 01 dez. 2012.

LIMA, M. A. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.19, n. 3, p.451-472, set./dez. 2002.

LOUZADA, A. G. **Avaliação da atividade metanogênica específica de lodos com condicionamento hidrolítico provenientes dos sistemas UASB + BFs**. 2006. 145p. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - MCT. **Inventário de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa não controlados pelo protocolo de Montreal: Parte II**. Brasília: 2009. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/25441.html>>. Acesso em: 16 set. 2012.

MONNET, F. **An introduction to anaerobic digestion of organic wastes**. Remade Scotland, 2003. 48p.

MORAES, P. B. **Digestão anaeróbia**. 2009. 19 p. Centro Superior de Educação Tecnológica – UNICAMP, Campinas, 2009.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986.

NUVOLARI, A. **Inertização de lodo de esgoto em tijolos cerâmicos maciços**: aspectos tecnológicos e ambientais. 2002. 261 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

OLIVER, A. P. M.; NETO, A. A. S.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. **Manual de Treinamento em Biodigestão**. Instituto Winrock Brasil, 2008.

OLIVEIRA, P. A. V. de. Produção e aproveitamento do biogás. In: OLIVEIRA, P. A.V. de *et al.* **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos**: manual de boas praticas. Concórdia: Gestão Integrada de Ativos Ambientais, 2004. Cap. 4, p.42-55.

SILVA, N. A. O biogás e o biofertilizante no balanço energético do Brasil. **Revista DAE**, São Paulo, v. 44, n. 136, 1984.

SOUZA, C. E. **Biodigestor**: limpeza do ambiente e rentabilidade. São José do Rio Preto: 2005. Disponível em: <<http://www.diarioweb.com.br/noticias/imp.asp?id=62340>>. Acesso em: 24 nov. 2012.

TOMITA, C.; RESENDE, F.V., CLEMENTE, F.M.; AMARO, G.B.; SOUZA, R.B. **Biofertilizante**: aprenda como se faz. Brasília: EMBRAPA, 2007.

ZANETTE, A. L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil**. 2009. 97 p. Tese (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

WELLINGER A. **Process design of agricultural digesters**. Switzerland: Nova Energie GmbH, 28 p., 1999.

WILKIE, A. C. **Biogas and anaerobic digestion**: fundamentals and application. USA: University of Florida. 29 p., 2004.