

---

# **Geração de energia no campus a partir da biodigestão anaeróbica**

**Carolina Fagundes Caron (Mestre)**

Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Tuiuti do Paraná

**Janilce Negrão Messias (Mestre)**

Curso de Engenharia Civil – Universidade Tuiuti do Paraná

**José Soares Coutinho Filho (Doutor)**

Curso de Engenharia Eletrônica – Universidade Tuiuti do Paraná

**Julio Cesar Vercesi Russi (Especialista)**

Curso de Engenharia Civil e Engenharia Ambiental – Universidade Tuiuti do Paraná

**Marisa Isabel Weber (Mestre)**

Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Tuiuti do Paraná

---

---

## Resumo

O artigo apresenta uma visão teórica do projeto de pesquisa intitulado “Geração de energia no *campus* a partir da biodigestão anaeróbia”, que aguarda parecer e número de registro na PROPPE. A biodigestão de detritos orgânicos através deste projeto de pesquisa apresenta interesse tanto para prefeituras de pequenos municípios, as quais apresentam problemas com o lançamento de esgotos domésticos em cursos d’água, assim como, para propriedades rurais, que produzem pequenos volumes de dejetos orgânicos. Este projeto propõe o redimensionamento do biodigestor da EMATER, através da redução de suas dimensões, mas mantendo a capacidade de biodigerir volumes pequenos de dejetos humanos e animais, assim como, de resíduos orgânicos, além da capacidade da produção de biogás e de fertilizantes. Este projeto verificará a viabilidade técnica econômica do investimento em biodigestores para pequenas propriedades e pequenas cidades, avaliando e quantificando os rendimentos diretos, a quantidade de gás produzida e rendimentos indiretos provocados pela redução do volume de resíduos e de lançamentos de esgotos produzidos na propriedade.

Palavras-chave: biodigestor; biogás; energia; adubo orgânico; pequenas propriedades rurais.

## Abstract

This article presents a theoretical overview of the research project entitled “Generation of energy from the campus of the anaerobic digestion”, which is awaiting an opinion and the record number in the PROPPE. The biological digestion of organic waste is of great interest to both town hall of small cities with problem of dealing with domestic sewage without dumping into the rivers and water courses as well as farms, which doesn’t produce organic wastes with the volume can justify a biodigester the dimensions of the proposed by the EMATER. The possible solution is to redesign the biodigester, reducing his dimensions, but keeping the capable to biodigerir small quantities of human, animal and organic wastes generated at the property of the study, beyond the amount of biogas and fertilizer that justify the investment. This project will examine the economic feasibility of investment in digesters for small farms and small towns, evaluating and quantifying the direct income, the amount of gas produced and indirect income caused by volume reduction of waste and releases of sewage produced on the property.

Key Words: biodigester, biogas, energy, organic waste, small farms.

---

---

## Introdução

A produção de esgoto doméstico, esterco, dejetos animais e águas servidas em propriedades rurais estão entre as principais causas de contaminação dos lençóis freáticos. Estas produções representam perda potencial de energia aproveitável e de adubo rico em P, o qual apresenta alto custo e difícil aquisição, isto por ser adquirido, principalmente, por importação. Desta forma, o aproveitamento de esgoto, dejetos animais e resíduos orgânicos diversos apresenta pontos atrativos. Entre estes pontos, pode-se citar a redução da liberação de resíduos no meio ambiente e o maior acesso a fontes de energia de baixo custo a frações do povo brasileiro com dificuldades financeiras. Ao propor a montagem e operação de um biodigestor no *Campus* Barigui da Universidade Tuiuti do Paraná (UTP), o grupo de pesquisa possui como foco principal adequar um projeto desenvolvido pela EMATER, para grandes propriedades rurais, a realidade das pequenas propriedades rurais brasileiras, as quais hoje praticam agricultura de subsistência e possuem dificuldade para o acesso a energia de baixo custo. Este é um projeto que envolve pesquisa e desenvolvimento. A parte de pesquisa está relacionada ao balanço energético do biogás gerado e a caracterização das propriedades do adubo orgânico

---

obtido com matérias primas diversas da prevista pela EMATER. A parte de desenvolvimento consiste na adequação das dimensões físicas do biodigestor e da adequação da carga dos dejetos a serem utilizados. Esta pesquisa promove também, o estudo da geração de energia alternativa, a qual poderá ser aplicada no campus Barigui da UTP. Este sistema terá por base as tecnologias de geração fotovoltaica e eólica, bem como a condição híbrida de geração. Desta forma, este projeto promove a interligação de diversas formas de energia elétrica com a rede convencional. O biogás obtido da digestão anaeróbia entrará como gás de aquecimento, ou como combustível, para um pequeno grupo motor-gerador. Esta escolha será a partir do estudo da viabilidade técnica econômica destas duas alternativas. Outro atrativo deste projeto é a multidisciplinaridade. O balanço energético a ser utilizado para o sistema biodigestor envolve conhecimentos de termodinâmica, a análise de composição de adubo para determinação da carga do sistema envolve conhecimentos na área de química, a modificação das dimensões físicas do biodigestor envolve análises de estruturas, e o estudo de tipos de filtros viáveis para pequenas propriedades envolve conhecimentos na área de materiais. Este projeto também acarreta conhecimentos na área matemática e computacional, pois será necessário

o desenvolvimento de simulações matemáticas para observações da viabilidade do projeto.

## Objetivo

O objetivo do artigo é apresentar, de maneira sucinta, a proposta do projeto de pesquisa, a ser aprovado pela universidade, intitulado “Geração de energia no campus a partir da biodigestão anaeróbia”.

## Metodologia

Ao tratar de um sistema de biodigestão anaeróbia é interessante definir a definição de alguns conceitos relacionados a este sistema. NOGUEIRA (1986) define biodigestor como uma câmara hermeticamente fechada onde ocorre a fermentação anaeróbia da matéria orgânica, resultando em biofertilizantes e gás metano (biogás).

Segundo MC CARTY JERIS e MURDOCH (1963) o processo de biometanação envolve a conversão anaeróbia de biomassa em metano. A decomposição biológica da matéria orgânica compreende quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Esta conversão do complexo orgânico requer uma mistura de espécies bacterianas e depende da temperatura do sistema e do ambiente para ocorrer.

Quando a biometanação ocorre entre temperaturas de 45°C – 60°C considera-se este processo termofílico, e mesofílico quando a temperatura varia entre 20°C – 45°C. Quando a temperatura é inferior a 20°C, o processo é dito como psicofílico. Segundo FULFORD (1988), temperaturas abaixo de 7°C inibem a ação das bactérias anaeróbias.

A biodigestão anaeróbia permite a redução significativa do potencial poluidor de dejetos orgânicos e representa um processo no qual não há grande geração de calor. Deve-se estar atento a volatilização dos gases, a qual é mínima quando se processa a um pH próximo da neutralidade. Deve-se considerar também a recuperação da energia na forma de biogás, a reciclagem do efluente e material digerido, o qual retorna sob a forma de biofertilizante, ou seja, com alto valor de matéria orgânica e NPK. Esta matéria orgânica ao se incorporar ao solo irá preservar e recuperar as características deste solo visando a agricultura local.

A conversão anaeróbia produz quantidades pequenas de energia para o desenvolvimento de microorganismos, indicando um desenvolvimento mais lento e menor porção de resíduos convertidos em nova biomassa celular.

Um esquema simplificado, adaptado de MC CARTY JERIS e MURDOCH (1963), é apresentado na Figura 1, indicando as 4 etapas metabólicas da

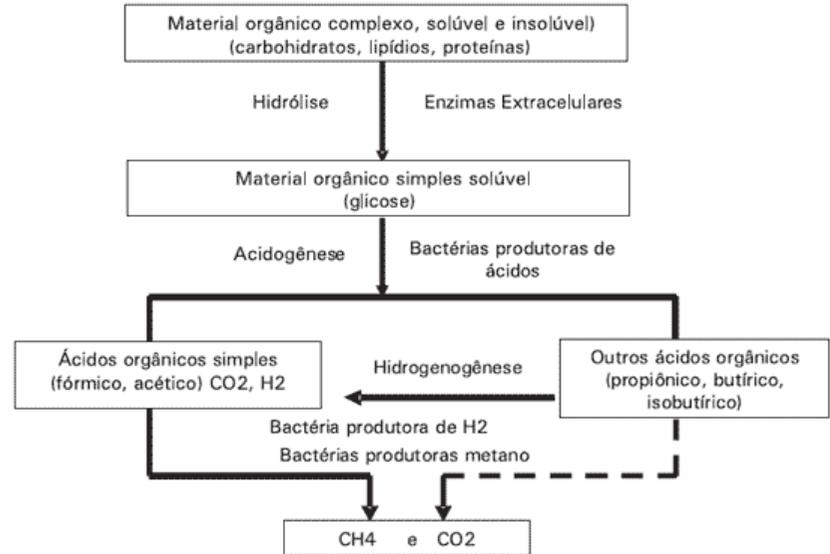


Figura 1. Etapas metabólicas do processo de digestão anaeróbia

digestão anaeróbia: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

#### a) Hidrólise

Nesta etapa, os compostos orgânicos complexos, como proteínas, lipídios e carboidratos, são convertidos a compostos mais simples como açúcares, aminoácidos e peptídeos através de enzimas extracelulares conhecidas como exoenzimas, as quais são excretadas por bactérias fermentativas hidrolíticas.

As substâncias complexas convertidas por hidrólise, tornam-se mais simples e dissolvidas podendo ser absorvidas através das paredes celulares e membranas de bactérias. A hidrólise é um processo lento e suscetível a vários fatores, entre estes: temperatura, tempo de residência, composição do substrato, tamanho das partículas do substrato, pH e a concentração de nitrogênio do substrato, (OLIVA,1997).

#### b) Acidogênese

A acidogênese é a etapa na qual os compostos gerados na hidrólise, são convertidos em  $H_2$ ,  $CO_2$ , sais e álcoois.

Esta etapa ocorre através da biodegradação de bactérias, as quais podem ser anaeróbias obrigatórias ou anaeróbias facultativas, conhecidas como acidogênicas. Os gêneros desses tipos de bactérias encontrados são: *Clostridium*, *Peptococcus*, *Bifidobacterium*, *Desulphovibrio*, *Corynebacterium*, *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Staphylococcus* e a *Escherichia* (METCALF e EDDY, 2003).

O produto final do metabolismo dessas bactérias depende do substrato inicial e das condições ambientais, dando ênfase à presença de  $H_2$ . Para baixas pressões de  $H_2$ , a formação de compostos orgânicos como acetato,  $CO_2$  e  $H_2$  é termodinamicamente favorecida. Caso a pressão parcial de  $H_2$  seja elevada ocorrerá somente a formação de produtos como propionato e, ácidos orgânicos como lactato e etanol (SILVA, 1993).

#### c) Acetogênese

A Hidrogenogênese ou acetogênese é a etapa na qual os ácidos voláteis e os álcoois são metabolizados, produzindo acetato e  $H_2$  através das bactérias acetogênicas produtoras de  $H_2$ . As bactérias acetogênicas consumidoras de  $H_2$  ou homoacetogênicas convertem parte do  $H_2$  e do  $CO_2$  que não se combinam, formando o metanol e acetato. Nesta etapa, também ocorre formação de material celular (OLIVA, 1997).

#### d) Metanogênese

A metanogênese é a etapa onde o  $CH_4$  é produzido pelas bactérias acetotróficas, a partir da redução de ácido acético e pelas bactérias hidrogenotróficas, a partir da redução do  $CO_2$  (WOESE, MAGRUM e FOX, 1978). Esta etapa possui velocidade de degradação inferior ao da acidogênese e também é afetado diretamente por esta etapa.

Segundo TIAGO FILHO e FERREIRA (2000) cada biodigestor tem uma característica, existindo os de produção descontínua ou de produção contínua.

- Produção descontínua ou batelada: a biomassa é colocada dentro do biodigestor o qual é totalmente fechado e só será aberto após a produção de biogás, o que levará entorno de noventa dias. Após a fermentação da biomassa, o biodigestor é aberto, limpo e novamente carregado para um novo ciclo de produção de biogás.

- Produção contínua: a produção pode acontecer por um longo período, sem que haja a necessidade de abertura do equipamento. A biomassa é colocada no biodigestor ao mesmo tempo em que o biofertilizante é retirado. Os biodigestores de produção contínua mais utilizados são os da Marinha, Indiano e Chinês.

*Biodigestor da Marinha:* É um modelo tipo horizontal. Possui a largura maior que a profundidade, portanto sua área de exposição ao sol é maior, tendo-se maior produção de biogás. Sua cúpula é de plástico maleável, tipo PVC, a qual infla com a produção de gás tal como um balão. Pode ser construído no ambiente ou no subsolo. A caixa de carga é feita em alvenaria, por isso pode ser mais larga evitando o entupimento. A cúpula pode ser retirada, o que auxilia na limpeza. A desvantagem nesse modelo é o custo da cúpula.

*Biodigestor Chinês:* Este biodigestor foi desenvolvido na China. Onde as propriedades são pequenas, o que influenciou este modelo ser construído em peça única e ser disposto em área subterrânea. Desta forma, o biodigestor sofre pouca variação em relação à temperatura. O biodigestor Chinês é um modelo feito em alvenaria, o que propicia um custo inferior quando relacionado aos demais.

*Biodigestor Indiano:* Sua cúpula, geralmente feita de ferro ou fibra, é móvel e movimenta-se para cima

e para baixo de acordo com a produção de biogás. Nesse tipo de biodigestor o processo de fermentação ocorre mais rápido, pois aproveita a temperatura do solo que é pouco variável, favorecendo a ação das bactérias. Ocupa pequeno espaço e é disposto em área subterrânea, dispensando o uso de reforços, tais como cintas de concreto. Sua cúpula, quando construída em metal, deve ser pintada com um antioxidante para evitar corrosão.

Para os modelos de biodigestores que ficam no subsolo, é necessário evitar a infiltração do material oriundo da biodigestão no nível freático, sendo importante a impermeabilização do terreno ou do biodigestor.

A quantidade de metano no biogás varia de acordo com as substâncias utilizadas para produzi-lo. Conforme observado por GALBIATTI (2009), o biogás é incolor e não é nocivo aos homens e aos animais.

O biogás pode ser utilizado para geração de calor, acionamento de grupos motor-gerador para gerar eletricidade, com qualquer teor de metano.

NOGUEIRA e ZÜRN (2005) consideram o valor de 58,5% de concentração de metano no biogás. Estes autores consideram que a cada m<sup>3</sup> de biogás produzido pode-se gerar 5,8 kWh de energia, valores alcançados em biodigestores que digerem dejetos de porcos. Na Tabela 1, são apresentados os valores de energia por m<sup>3</sup>

de biogás gerado, através da alimentação diversificada em biodigestores.

Tabela 1. Tabela de equivalência de energia entre biogás e combustíveis diversos. Padrão de comparação, 1 m<sup>3</sup> de biogás.

Material	Equivalência energética com 1m <sup>3</sup> de biogás.
Gás de cozinha	1,5 m <sup>3</sup>
Gasolina	0,52 até 0,6 m <sup>3</sup>
Etanol	0,9 m <sup>3</sup>
Eletricidade	1,43 kWh
Lenha seca	2,7 kg

Para o projeto proposto, serão realizadas alterações no biodigestor. Inicialmente, seu interior será aquecido com o uso de água aquecida por energia solar. O objetivo deste aquecimento é garantir, independente da temperatura ambiente, que a biodigestão ocorra em tal temperatura que o rendimento do biodigestor seja otimizado.

Inicialmente a temperatura a ser utilizada para trabalho será através da biodigestão termofílica (45°C a 60°C). No entanto, caso não se consiga atingir esta variação de temperatura, a biodigestão mesofílica será aceita (25°C a 30°C).

Outro motivo para incrementar a temperatura da biodigestão prende-se ao fato de que o alvo principal do projeto é atender pequenas propriedades. Ou seja, aquelas com poucos moradores, 30 a 40 porcos, 2 a 4 bovinos, 10 a 20 galinhas e resíduos orgânicos vegetais.

O biodigestor padrão EMATER é projetado para operar com dejetos de 200 porcos, sendo, portanto, bastante grande e receptor de elevada carga matéria orgânica.

Como base de cálculo para dejetos humanos será utilizada a Tabela 2. Nesta tabela são apresentados valores indicados por BRUNINNG, FRANÇA, ROLDÃO, ZIMERMANN e HINDELMANN, EMATER.

Tabela 2. Planilha base para cálculo de resíduos disponíveis por dia para um homem de 70 kg.

Estes dejetos são distribuídos da seguinte maneira:

Espécie	Dejetos (Kg)	Quantidade (pessoa)	Total de dejetos (kg)	Relação de Dejetos / água	Volume de água m <sup>3</sup>	Volume de Carga m <sup>3</sup>
Humana	2,0	1	2,0	1:4	0,5	2,5

- Fezes, 400 a 500g
- Urina 600 a 1500ml.
- Matéria orgânica de cozinha 1kg.

Outra possibilidade para o desenvolvimento do projeto é a instalação do biodigestor na propriedade de um professor da UTP, o qual aceitou arcar com os custos da instalação. Caso esta possibilidade ocorra, a propriedade esta localizada no município de Campo Largo, a 32km de distância de Curitiba, com acesso ao município pela BR 277 (Rodovia do Café). Campo Largo faz limite com os municípios de Castro, Campo Magro, Itaperuçu, Ponta Grossa, Araucária, Balsa

Nova, Curitiba e Palmeira. Esta cidade apresenta clima subtropical úmido mesotérmico com temperatura média inferior a 22°C durante o verão e 18°C no inverno. As coordenadas geográficas para a instalação do biodigestor na propriedade são as seguintes: latitude de 25° 24' 17" S, longitude de 49° 25' 52" W, sendo a altitude de 930m.

O biodigestor implantado será uma adaptação direta do modelo de biodigestor apresentado pela EMATER, com adaptação volumétrica às realidades da propriedade.

Os dados considerados para carga do biodigestor serão os mesmos da Tabela 2, o dimensionamento do volume do biodigestor será calculado pela equação apresentada pela EMATER:

$$VB = VC \times TRH$$

Onde:

VB = volume do biodigestor.

VC = volume de carga diária (dejetos + água).

TRH = tempo de retenção hidráulica.

## Resultados e Discussão

Como o projeto ainda não está implementado, não é possível a apresentação de resultados. No entanto, é

possível realizar a discussão de algumas condicionantes deste projeto.

A principal questão deste projeto é o dimensionamento de um biodigestor, o qual irá fornecer biogás e adubo, para pequenas propriedades onde será instalado. No entanto, deve-se atentar à pequena geração de dejetos humanos e animais, o que pode vir a tornar a produção destes insumos (biogás e adubo), além da utilização do biodigestor não econômica.

Através da literatura, o grupo de pesquisa observou que o processo termofílico é o mais adequado para a degradação da matéria orgânica, sendo capaz de digerir lignina e, portanto, degradar materiais lenhosos, os quais poderão ser incorporados ao processo inicial de funcionamento do biodigestor.

O processo termofílico, na visão do grupo, poderá ser atingido através do aquecimento solar da água que circulará no interior do biodigestor por diferença de densidade. Este biodigestor será diferente do biodigestor do tipo Marinha, pois será construído em alvenaria e será enterrado no subsolo.

O grupo está atento, também, as questões climáticas da cidade de Curitiba, clima frio e úmido, o que poderá vir a prejudicar a operação na faixa termofílica. Desta forma, a faixa mesofílica será a faixa a ser atingida para a degradação da matéria orgânica,

sem, no entanto, adicionar materiais lenhosos, os quais possuem degradação mais lenta em temperaturas mais baixas.

Outros problemas de engenharia também precisam ser discutidos e solucionados no decorrer do projeto, entre eles pode-se citar: qual o material mais adequado para o encanamento interno do biodigestor, o qual irá facilitar a circulação interna da água aquecida; como e quando verificar as temperaturas internas da massa anaeróbia; o sistema será simples o suficiente para ser prático; o custo direto e o indireto justificam o emprego do biodigestor. Estas perguntas e outras ainda nem imaginadas pelo grupo só poderão ser respondidas ao longo da operação do projeto.

## Conclusões Parciais

As tecnologias de biodigestão anaeróbia de dejetos orgânicos, no Brasil, vem sendo bastante estudadas. Porém, poucos são os estudos relacionados ao redimensionamento e ao rendimento obtido através de biodigestores programados para pequenas e médias propriedades, já definidas anteriormente. Desta forma, a equipe do projeto pretende realizar estudos nesta direção e acredita que o calor proveniente da degradação da carga de matéria orgânica otimize o tempo de degradação deste material, favorecendo a degradação de um volume maior de matéria orgânica.

## Referências

- Anaerobic Treatment*. J. W. P. C. F. dez, 1963. Boston: Mc Graw Hill, 2003, p. 1819.
- BRUNINNG, V.; FRANÇA, M. J.; ROLDÃO, C.; ZIMERMAN, S.; HINDELMANN, P. H.. *Biodigestor humano*. Disponível em: [www.caaq.ufsc.br/.../VIIMCT\\_SaudeMeioAmbiente\\_Biodigestor%20humano.pdf](http://www.caaq.ufsc.br/.../VIIMCT_SaudeMeioAmbiente_Biodigestor%20humano.pdf), verificado 19/02/2010.
- GALBIATTI, J. A. *Departamento de Engenharia Rural*, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, 2009.
- Manual de treinamento em biodigestão. EMATER – versão 2.0, Fevereiro 2008.
- Mc. CARTY, P.L.; JERIS, J. S.; and MURDOCH, W. *Individual volatile acids in anaerobic treatment*. Dezembro, 1963. p. 1501 – 1515.
- METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4a ed. Boston: Mc Graw Hill, 2003, 1819 p
- NOGUEIRA, C. E. C., ZÜRN, H. H.. *Modelo de dimensionamento otimizado para sistemas energéticos renováveis em ambientes rurais*. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.2, p.341-348, maio/ago, 2005.
- NOGUEIRA, L. A. H. *Biodigestão: a alternativa energética*. São Paulo: Nobel, 1986.
- OLIVA, L.C.H.C. *Tratamento de esgotos sanitários com reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) protótipo: desempenho e respostas dinâmicas as sobrecargas hidráulicas*. São Carlos, 1997. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 218p.
- SANCHEZ, E.; MILAN, Z.; WEILAND, P.; RODRIGUEZ, Z.X. *Piggery waste treatment by anaerobic digestion and nutrient removal by ionic exchange*. Resources Conservation and Recycling, Amsterdam, v.15, n.3-4, p.235-44, 1995.
- SILVA, S. M. C. P. *Desenvolvimento de uma nova concepção de tratamento de águas residuárias pela associação de processos anaeróbios e aeróbios*. São Paulo, 1993. Tese (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- TIAGO FILHO, G. L e FERREIRA, E.F. *Agroenergia – fundamentos sobre o uso da energia no meio rural*. 2000.
- WOESE, C.R., MAGRUM, L.J. AND FOX, G.E. (1978). *Archaeobacteria*. Journal of Molecular Evolution 11: 245-252.