

Carlos Victor Bessa Corrêa  
Johnson Pontes de Moura

# Biomassas regionais

uma proposta de produção de biogás  
em regiões ribeirinhas da Amazônia



# **Biomassas regionais**

uma proposta de produção de biogás  
em regiões ribeirinhas da Amazônia

Governo do Estado do Amazonas

Wilson Miranda Lima  
**Governador**

Universidade do Estado do Amazonas

André Luiz Nunes Zogahib  
**Reitor**

Kátia do Nascimento Couceiro  
**Vice-Reitora**

*editora***UEA**

Isolda Prado de Negreiros Nogueira Horstmann  
**Diretora**

Maria do Perpetuo Socorro Monteiro de Freitas  
**Secretária Executiva**

Síndia Siqueira  
**Editora Executiva**

Samara Nina  
**Produtora Editorial**

Isolda Prado de Negreiros Nogueira Horstmann (Presidente)

Allison Marcos Leão da Silva

Almir Cunha da Graça Neto

Erivaldo Cavalcanti e Silva Filho

Jair Max Furtunato Maia

Jucimar Maia da Silva Júnior

Manoel Luiz Neto

Mário Marques Trilha Neto

Sílvia Regina Sampaio Freitas

**Conselho Editorial**

# Biomassas regionais

uma proposta de produção de biogás  
em regiões ribeirinhas da Amazônia

Carlos Victor Bessa Corrêa  
Johnson Pontes de Moura



*editora*  
**UEA**

Ana Vitória Matos  
Clarice Martins  
Samara Nina  
**Projeto Gráfico**

Ana Vitória Matos  
**Diagramação**

André Teixeira  
Sindell Amazonas  
Wanessa Ramos  
Wesley Sá  
**Revisão**

Samara Nina  
**Finalização**

Todos os direitos reservados © Universidade do Estado do Amazonas  
Permitida a reprodução parcial desde que citada a fonte

Esta edição foi revisada conforme as regras do Novo Acordo Ortográfico da  
Língua Portuguesa

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade do  
Estado do Amazonas

C827b  
2022

Corrêa, Carlos Victor Bessa  
Biomassas regionais - uma proposta de produção de biogás em  
regiões ribeirinhas da Amazônia/ Carlos Victor Bessa Corrêa,  
Johnson Pontes de Moura. – Manaus (AM): 2022.

98 p.: il., color; 21 cm.

ISBN 978-65-80033-83-6

Inclui referências bibliográficas

1. Energias renováveis. 2. Biodigestor. 3. Resíduos agrícolas.  
I. Moura, Johnson Pontes de. II. Título

CDU:1997 – 628.3

Editora afiliada



Associação Brasileira  
das Editoras Universitárias

*editora*UEA

Av. Djalma Batista, 3578 – Flores | Manaus – AM – Brasil  
CEP 69050-010 | +55 92 38784463  
editora.uea.edu.br | editora@uea.edu.br

# Sumário

Apresentação	06
<b>1 Produção de energia através de resíduos orgânicos</b>	<b>13</b>
<b>2 Materiais e métodos para construção e uso do biodigestor</b>	<b>33</b>
<b>3 Resultados e análise dos resultados da aplicação de cupuaçuzeiros à operação do biodigestor modelo indiano</b>	<b>53</b>
<b>4 Formas de obter biogás</b>	<b>55</b>
<b>5 Benefício do biogás para a propriedade rural</b>	<b>66</b>
<b>6 Biofertilizantes</b>	<b>69</b>
<b>7 Procedimentos para construção de um biodigestor</b>	<b>71</b>
<b>8 Materiais e custo do investimento</b>	<b>80</b>
<b>9 Projeto piloto</b>	<b>83</b>
Considerações finais	87
Referências	90
Lista de figuras	94
Listas de tabelas	95
Lista de fluxogramas	96
Sobre os autores	97



# Apresentação

O sistema de abastecimento da zona rural é bastante precário e falho, deixando de suprir muitas comunidades interioranas, por isso o uso de energias renováveis é bem visto e valorizado como forma de solucionar tais problemas. O biodigestor é uma das rotas tecnológicas que produz energia limpa e atende as necessidades da população, pois produz biogás, que pode ser usado para gerar energia elétrica, biofertilizante, seu principal produto, para utilização nas plantações rurais, e o resíduo líquido, que pode ser utilizado na piscicultura. Além dos subprodutos gerados com a instalação do reator anaeróbico, o uso do biodigestor pode trazer outras vantagens, como a diminuição do desmatamento, o aumento na produtividade dos solos da região amazônica e a diminuição de parte dos problemas relacionados ao clima e meio ambiente, como é o caso do aquecimento global. Esta obra tem como objetivo analisar as formas de obtenção de biogás a partir de resíduos agrícolas e identificar a forma mais apropriada para a agricultura amazonense, levando em consideração a biomassa amazônica e o seu custo benefício para os agricultores. Além disso, pretende analisar as formas de obtenção de biogás, tendo como critério a viabilidade, os recursos humanos e os recursos financeiros disponíveis, dimensionar o equipamento e realizar pesquisas a partir do projeto piloto.

## **Justificativas**

O estudo avalia os melhores caminhos tecnológicos para a funcionalidade de um reator anaeróbico (Biodigestor), que possui inúmeras vantagens econômicas e ambientais,

não só na produção de biogás, mas também na produção de biofertilizantes sólidos, energia e efluentes com grande valor orgânico. Os biodigestores se caracterizam como uma alternativa sustentável e economicamente viável de fonte de energia limpa, a fim de diminuir a dependência de combustíveis fósseis.

O principal alvo desta pesquisa é o estudo da viabilidade da produção de biogás a partir de resíduos agrícolas tipicamente amazônicos e os meios tecnológicos que podem ser utilizados nesse contexto. A proposta é reaproveitar resíduos orgânicos de pequenos e médios produtores com a intenção de atingir, inicialmente, como beneficiários a população interiorana do estado, que enfrenta condições adversas de dificuldades na acessibilidade a combustíveis. Além disso, a importância desta pesquisa justifica-se pela necessidade de estudar os melhores meios para produção de biogás, levando em consideração a realidade regional, tornando-o acessível e contribuindo para uma produção limpa e economicamente viável, trazendo mais qualidade de vida e economia a essa população.

## **Considerações iniciais**

Em 1970, quando houve a crise energética, as grandes nações analisaram o quanto o mundo estava dependente do petróleo. Devido ao alto custo dos barris e à recessão econômica, as nações começaram a inovar com pesquisas, com foco no uso de energias renováveis, entretanto as tecnologias destinadas à energia limpa possuíam um custo elevado em relação ao petróleo, não se desenvolvendo muito nesse período.

Após o ápice da revolução industrial, em 1997, foi instaurado o protocolo de Kyoto, o qual tinha como objetivo reduzir o nível de emissão de gases entre os anos de 2008 e 2012. Foi a partir dele que as grandes nações se preocuparam mais em aprimorar as antigas tecnologias e pesquisar novas rotas para a produção de bioenergia.

Atualmente, devido a esses esforços, há uma gama de tecnologias para a produção de energias renováveis, entre elas o tratamento de dejetos. A modalidade que se mostra mais vantajosa e que tem fácil fabricação são os biodigestores anaeróbicos. A partir deles, muitos dos problemas enfrentados pelas nações relacionados a meio ambiente podem ser amenizados, como o desmatamento para uso da lenha e a contaminação dos lençóis freáticos por uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos, por exemplo.

## **Biomassa**

Biomassa é toda matéria orgânica que se acumula num espaço vital. A matéria orgânica inclui todos os resíduos da fauna e flora, resíduos industriais e sólidos urbanos. A partir de vários métodos, essas matérias podem ser convertidas em energias elétrica, mecânica e térmica.

Os resíduos provenientes da criação de animais, tais como aves, suínos e bovinos, são altamente poluentes e constituem uma alta proporção de biomassa. Por esses motivos são estudadas formas de se obter energia a partir desses resíduos e uma maneira de usá-los sem agredir o meio ambiente.

## **Biogás**

Biogás é a mistura de gases obtidos a partir de uma fermentação anaeróbica da matéria orgânica. A proporção de gases varia dependendo do tipo de resíduo e o tipo de digestão. Mesmo com essa variação, os principais gases são o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Na tabela abaixo, são apresentados os outros gases e a percentagem na composição do biogás.

**Tabela 1-** Composição do Biogás

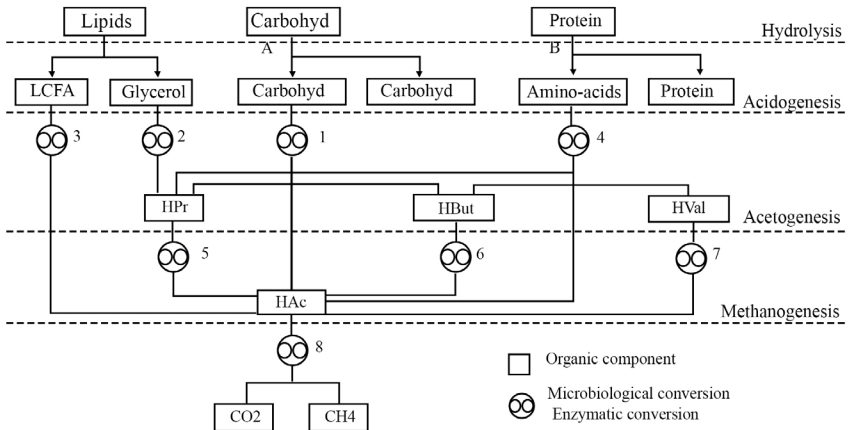
Gás	Símbolo	% no Biogás
Metano	CH <sub>4</sub>	50 - 80%
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	20 - 40%
Hidrogênio	H <sub>2</sub>	1 - 3%
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	0,5 - 3%
Sulfídrico e Outros	H <sub>2</sub> S, CO, NH <sub>3</sub>	1 - 5%

Fonte: La Farge, 1979

## Fermentação anaeróbica

A biodigestão anaeróbica permite a redução significativa do potencial poluidor de dejetos orgânicos e não há grande geração de calor. Esse processo compreende quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

**Figura 1-** Fases de biodigestão anaeróbica



Fonte: Angelidaki, Ellegaard e Ahring, 1999

Na Figura 1, tem-se as principais rotas para degradação anaeróbica de matéria orgânica de acordo com Angelidaki, Ellegaard e Ahring (1999): (A) hidrólise de carboidratos não dissolvidos; (B) hidrólise de proteínas não dissolvidas. (1) acidógenos fermentadores de glicose, (2) bactérias lipolíticas, (3) acetógenos degradadores de ácidos graxos de cadeia longa (LCFA – long chain fatty acid), (4) acidógenos degradadores de aminoácidos, (5) acetógenos degradadores de propionato (HPr), (6) acetógenos degradadores de butirato (HBut), (7) acetógenos degradadores de valerato (HVal), (8) metanógenos degradadores de ácido acético (HAc).

**Hidrólise:** A partir do processo de hidrólise, as substâncias mais complexas, como proteínas e lipídios, são transformadas em substâncias mais simples e mais fáceis de serem absorvidas pelas bactérias. Esse processo é lento e suscetível a vários fatores, como temperatura, composição e o tamanho das partículas do substrato, pH e a concentração de nitrogênio no substrato (OLIVA, 1997).

**Acidogênese:** Nessa fase, os compostos obtidos na hidrólise são convertidos em H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, sais e álcoois. Isso ocorre devido à biodegradação de bactérias, que podem ser anaeróbias obrigatórias ou anaeróbias facultativas. O resultado dessa etapa vai depender da presença de H<sub>2</sub>, do substrato e das condições do ambiente. Se a pressão de H<sub>2</sub> for baixa, haverá formação acetato, H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. Porém se a pressão de H<sub>2</sub> for elevada, ocorrerá a formação de produtos como propionato e ácidos orgânicos, como lactato e etanol.

**Acetogênese:** Os ácidos voláteis e os álcoois são metabolizados, gerando acetato e H<sub>2</sub> através das bactérias acetogênicas produtoras de H<sub>2</sub>. As bactérias acetogênicas transformam parte do H<sub>2</sub> e do CO<sub>2</sub> em metanol e acetato.

**Metanogênese:** É produzido por CH<sub>4</sub> pelas bactérias acetotróficas, a partir da redução de ácido acético e pelas bactérias hidrogenotróficas, a partir da redução de CO<sub>2</sub>.

Observações em relação ao processo em si: se ele estiver ocorrendo a uma temperatura entre 45°C e 60°C, trata-se de um processo termofílico; entre 20°C e 45°C, processo mesofílico; e abaixo de 20°C, processo psicofílico. Deve-se atentar à volatilização dos gases, a qual é mínima quando o pH é quase que neutro.



1.

Produção de energia através  
de resíduos orgânicos

---

## **Biomassa**

O termo biomassa possui diferentes conceitos, interligados entre si, que variam com a perspectiva utilizada: ecologia ou geração de energia. De acordo com a perspectiva ecológica, biomassa é “a quantidade de matéria viva em forma de uma ou mais espécies de organismos, presente em determinado habitat”<sup>1</sup>, mas segundo a perspectiva energética, o conceito de biomassa engloba qualquer recurso renovável proveniente da matéria orgânica (SANTOS *et al.*, 2012). Consequentemente, são muitas as fontes de biomassa que podem ser utilizadas para geração de energia elétrica.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), o termo biomassa

compreende a matéria vegetal gerada pela fotossíntese e seus diversos produtos e subprodutos derivados, tais como as florestas, as culturas e os resíduos agrícolas, os dejetos animais e a matéria orgânica que é contida nos rejeitos industrial e urbano. Esta matéria contém a energia química acumulada através da transformação energética da radiação solar e pode ser diretamente liberada por meio da combustão, ou ser convertida através de diferentes processos em produtos energéticos de natureza distinta, tais como: carvão vegetal, etanol, gases combustíveis e de síntese, óleos vegetais combustíveis e outros (MME, 2007, p. 107).

---

1 Fonte: <http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php?lingua=portuguesportugues&palavra=biomassa>

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o termo biomassa compreende

todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizado na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. A energia solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos (ANEEL, 2005, p. 77).

## **Produção de energia elétrica a partir da biomassa**

A biomassa para fins energéticos destaca-se como uma das fontes renováveis com maiores possibilidades em todos os aspectos, em especial, no que se refere à sua utilização para geração de energia elétrica (SANTOS *et al.*, 2012). Tem sido constante o crescimento da participação da biomassa na matriz energética brasileira nos últimos anos, fato que pode ser observado no Balanço Energético Nacional de 2014, com ano base 2013, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), indicado na Tabela 2.

A partir dos dados apresentados pela “Composição setorial do consumo final de biomassa”, pode-se observar que o consumo energético final sofreu um constante aumento entre os anos de 2004 a 2008, e, entre os anos de 2008 a 2012, oscilou entre a diminuição e o aumento, para posteriormente retomar o crescimento.

**Tabela 2** - Composição setorial do consumo final de biomassa

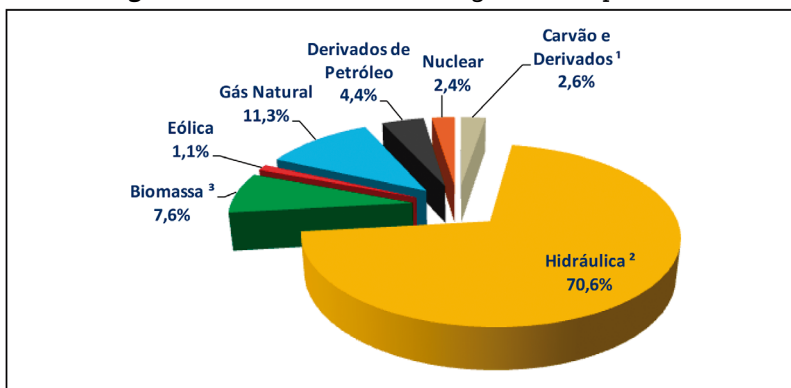
<b>Setores</b>	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Consumo final energetico (103 tep)</b>	52,600	54,492	57,495	62,626	67,796	65,985	69,849	65,269	64,984	67,752
<b>Energético</b>	14,2	14,8	15,6	16,9	19,6	18,6	18,3	16,0	16,2	18,1
<b>Residencial</b>	16,3	16,1	15,3	13,3	12,1	12,3	11,1	10,7	10,7	9,1
<b>Comercial e público</b>	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
<b>Agropecuário</b>	4,1	4,0	3,9	3,8	3,8	3,7	3,6	3,8	3,8	3,9
<b>Transportes</b>	12,3	12,8	11,1	13,8	16,2	17,9	17,2	16,4	15,2	17,5
<b>Industrial</b>	52,9	52,1	53,9	52,0	48,0	47,3	49,5	52,8	53,9	51,1
<b>Cimento</b>	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,1	0,5	0,9	0,6	0,5
<b>Ferro-gusa e aço</b>	9,3	8,8	8,1	7,6	6,9	4,1	4,8	5,3	5,1	4,5
<b>Ferro-ligas</b>	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
<b>Mineração e pelotização</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Não-ferrosos e outros da metalurgia</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Química</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
<b>Alimentos e bebidas</b>	27,7	27,3	29,7	28,8	25,6	27,6	28,0	29,4	31,0	28,8
<b>Têxtil</b>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Papel e celulose</b>	9,2	9,3	9,6	9,4	9,2	10,0	10,2	11,0	10,7	11,0
<b>Cerâmica</b>	3,1	3,2	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,8	3,9	4,0
<b>Outros</b>	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,4
<b>Total</b>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Nota: inclui bagaço de cana, lenha, outras fontes primárias renováveis, carvão vegetal e álcool.

**Fonte:** adaptado de EPE, 2014

A Figura 2 apresenta a estrutura da oferta interna de eletricidade no Brasil em 2013. A partir dela, pode-se afirmar que o Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica, que responde por 70,6% da oferta interna. A geração de energia elétrica a partir da biomassa responde por 7,6%.

**Figura 2** - Oferta interna de energia elétrica por fonte



<sup>1</sup> Inclui gás de coqueria / Includes coke oven gás

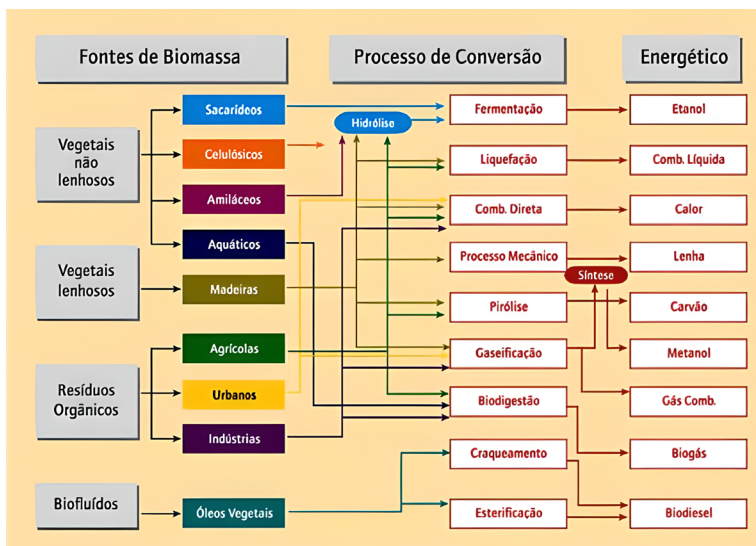
<sup>2</sup> Inclui importação de eletricidade / includes electricity imports

<sup>3</sup> Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações / Includes firewood, sugarcane bagasse, black liquor and other primary sources

**Fonte:** EPE, 2014

A Figura 3 evidencia a existência de diversas rotas possíveis, com variedade extensa de fontes de biomassa e tecnologias para os processos de conversão, o que torna de grande importância a verificação da rota mais eficiente a ser utilizada com a fonte escolhida. Essa eficiência baseia-se na análise de custo x benefício de cada rota. Em geral, as mais complexas são as mais onerosas, porém apresentam um maior rendimento, e as mais simples são as de menores custos, no entanto, apresentam um menor rendimento.

**Figura 3** - Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa



**Fonte:** MME, 2007

São diversas as fontes de biomassa e cada uma apresenta vantagens e desvantagens. As variáveis, porém, são usualmente as mesmas, alterando somente a intensidade de sua presença. Essas variáveis são custos, homogeneidade, localização da produção da biomassa e sazonalidade. Na Tabela 3 estão listadas as principais fontes de biomassa juntamente com suas vantagens e desvantagens.

**Tabela 3** - Fontes de biomassa com suas vantagens e desvantagens

<b>Fonte</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Resíduo agrícola</b>	Baixo custo	Dispersão geográfica e sazonal Logística duvidosa
<b>Resíduo industrial</b>	Baixo custo	Dispersão geográfica Logística duvidosa Heterogeneidade
<b>Resíduos de parques e jardins</b>	Baixo custo	Dispersão geográfica e sazonal Logística problemática Heterogeneidade
<b>Cultura energética dedicada</b>	Produção localizada Homogeneidade Rastreabilidade Logística racional	Custo de obtenção Certa sazonalidade

**Fonte:** Mazzarella, 2007

## Cupuaçu

O cupuaçu é uma das frutas mais populares do Amazonas. A fruta, nativa da região amazônica, começou a ser cultivada pelas comunidades indígenas como fonte primária de alimento. Atualmente, é utilizada na culinária brasileira no preparo de sucos, sorvetes, licores, cremes, pudins, bolos, balas e bombons.

O cupuaçu desponta ainda como um importante produto agrícola de exportação com ampla perspectiva de mercado devido à aceitação que desfruta entre os consumidores regionais e de outros estados do país (MC CARTY, 1963).

A região amazônica possui características favoráveis ao cultivo de frutas tropicais. Com condições de clima quente e úmido e solo ideais, o cultivo do cupuaçu tem grande importância econômica e social para o Amazonas.

Com uma produção superior a nove milhões de frutos, dados registrados pelo Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Amazonas (IDAM), é possível destacar que os municípios de Itacoatiara/Novo Remanso, Manacapuru, Presidente Figueiredo e Autazes são os maiores produtores de cupuaçu do Estado (FERREIRA, 2004).

### **Aspectos botânicos, florescimento e frutificação**

**Família:** Sterculiaceae.

**Nome científico:** *Theobroma grandiflorum* (Willdenow ex Sprengel) Schumann.

**Nome comum:** “cupuaçu”.

**Porte:** em cultivos racionais, “varia de 4 a 8 m de altura, com copa chegando a 7 m de diâmetro, em andares, porém nas condições de bosque tropical úmido atinge até 20 m de altura e 45 cm de diâmetro de caule à altura do peito, nos indivíduos silvestres de mata alta” (VENTURIERI *et al.*, 1985, *apud* VENTURIERI *et al.*, 1993; Sebrae/AC, 1995; ROCHA NETO *et al.*, 1999). Em condições de campo, a pleno sol, o crescimento também é favorecido.

**Caule:** com fissuras e casca marrom-escura, apresenta crescimento pseudoapical. O eixo principal tem crescimento ortotrópico em estágios de 1,0 a 1,5 m, formando andares. Ao final de cada estágio, trifurca-se em ramos plagiotrópicos.

**Folhas:** quando jovens, são de cor rósea e revertidas de pelos ferrugíneos e abundantes, que se soltam com facilidade; quando maduras, são de cor verde-escura, atingindo 25 a 30 cm de comprimento por 10 a 15 cm de largura.

**Flores:** o cupuaçuzeiro apresenta uma taxa baixíssima de conversão de flores em frutos (cerca de 0,5%), o que é comum entre espécies tropicais. Geralmente, a planta apresenta em média 3.500 flores para produzir de 15 a 20 frutos maduros.

**Frutos:** possui características de drupa e de baga, apresentando-se de forma alongada e com as extremidades arredondadas, classificando-se em diferentes formatos. O comprimento varia de 12 a 15 cm e o diâmetro de 10 a 12 cm. Seu peso situa-se entre 500 e 4.500 g, com média de 1.275 a 1.500 g. Possui epicarpo (camada rígida e lenhosa), epiderme (verde, coberta por revestimento ferrugíneo, que se desprende com a manipulação) e meso-endocarpo (camada mais interna, de cor branco-amarelada, medindo cerca de 7 mm de espessura, limitado internamente por uma película). Nele as sementes se sobrepõem em cinco fileiras verticais, envolvidas por uma polpa branco-amarelada, delicadamente fibrosa, de sabor acidulado e de cheiro agradável. A tabela 4 apresenta a variação percentual de polpa, semente e casca em relação ao formato dos frutos de cupuaçu.

**Tabela 4** - Características físicas dos frutos de cupuaçu em relação ao seu formato

<b>Formato do fruto</b>	<b>Polpa</b>	<b>Fibra</b>	<b>Semente</b>	<b>Casca</b>
<b>Elíptico</b>	42,32	2,90	13,84	40,94
<b>Ovado</b>	42,91	2,15	10,31	44,63
<b>Oblongo</b>	39,59	2,75	14,12	43,54
<b>Obovado</b>	38,13	3,87	15,02	42,98
<b>Redondo</b>	43,49	3,75	15,48	37,28

**Fonte:** Pimentel, 1999

**Semente:** em número médio de 32 unidades (variam de 9 a 62 por fruto), apresentam 2,6 cm de comprimento, 2,3 cm de largura e 0,9 cm de espessura. São encontradas no interior dos frutos, dispostas em cinco fileiras verticais, envolvidas por uma polpa branco-amarelada e de cheiro agradável.

**Floração e Frutificação:** podem ocorrer simultaneamente entre os meses de novembro a março. O período de floração, que coincide com o de menor incidência das chuvas, inicia-se em junho e pode estender-se até março, com pico entre novembro e janeiro. A frutificação ocorre entre novembro e junho, atingindo o máximo em fevereiro e março. O amadurecimento dos frutos, que ocorre entre 120 e 135 dias após o início da floração, coincide com o período de maior pluviosidade, porém a presença de fruto temporão pode ocorrer em julho.

## Biogás

O biogás é resultado da digestão anaeróbica, fermentação na ausência de oxigênio, de material orgânico presente em dejetos de animais, resíduos vegetais, lixos orgânicos residenciais, efluentes ou lixo industrial como vinhaça, restos de abatedouros e frigoríficos, curtumes e fábricas de alimento, lodo de esgoto, em condições adequadas de umidade, temperatura, agitação da massa, alcalinidade e do pH composto. É uma mistura de gases contendo principalmente gás metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (OLIVEIRA, 2012) (Tabela 5).

**Tabela 5** - Percentual dos gases presentes na composição do biogás

<b>Gás</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Percentual</b>
<b>Metano</b>	CH <sub>4</sub>	50 - 75%
<b>Dióxido de carbono</b>	CO <sub>2</sub>	25 - 40%
<b>Hidrogênio</b>	H <sub>2</sub>	1 - 3%
<b>Nitrogênio</b>	N <sub>2</sub>	0,5 - 2,5%
<b>Oxigênio</b>	O <sub>2</sub>	0,1 - 1%
<b>Sulfeto de hidrogênio</b>	H <sub>2</sub> S	0,1 - 0,5%
<b>Amoníaco</b>	NH <sub>3</sub>	0,1 - 0,5%
<b>Monóxido de carbono</b>	CO	0 - 0,1%
<b>Água</b>	H <sub>2</sub> O	Variável

**Fonte:** PIPGE – IEE/USP

## **Emprego do biogás para a geração de energia elétrica**

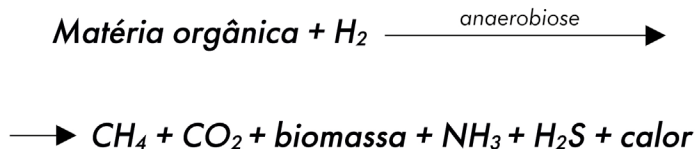
Os biodigestores produzem biogás que são comumente utilizados como fonte primária de energia no fornecimento de energia mecânica em turbinas e motores, os quais, juntamente com geradores elétricos, produzem energia elétrica que pode ser utilizada pela indústria ou vendida para a concessionária elétrica local, havendo excedente na geração, viabilidade e possibilidade de comercialização.

Um m<sup>3</sup> de biogás equivale a 6,5 kWh de energia elétrica e a eficiência dos sistemas de cogeração varia entre 30 e 38%, ou seja, entre 1,95 e 2,47 kWh. Nota-se o potencial do mesmo para ser utilizado em sistemas de cogeração de energia (MC CARTY, 1963).

## **Digestão anaeróbia**

O processo de digestão anaeróbia engloba a degradação e estabilização da matéria orgânica levando à formação de metano, produto inorgânicos (dióxido de carbono) e biofertilizante (matéria orgânica estabilizada) (SÁNCHEZ, 2010).

A representação da digestão anaeróbica pode ser feita pela equação abaixo:



As principais finalidades da digestão anaeróbia são (USHIMA, 2004):

- remoção da carga orgânica poluente;
- redução dos microorganismos patogênicos;
- produção de biogás;
- produção de biofertilizantes mais estáveis, mais ricos em nutrientes assimiláveis e com melhor qualidade sanitária quando comparados ao rejeito industrial original.

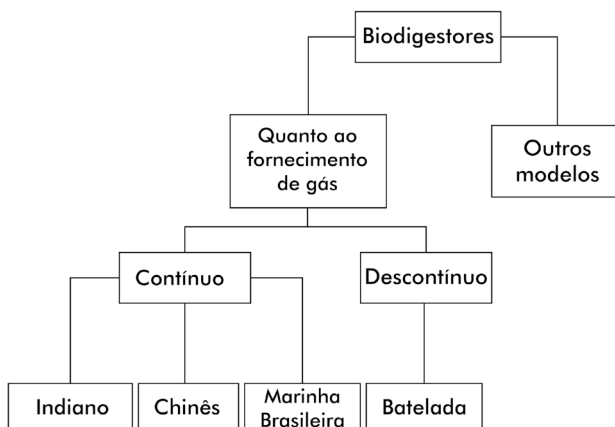
## **Biodigestor**

O biodigestor é definido como uma câmara de fermentação ou tanque de fermentação, geralmente circular, construído abaixo do nível do solo com o objetivo de minimizar as variações de temperatura que podem levar à interrupção do processo fermentativo e conseqüentemente à parada na produção de gás (OLIVEIRA, 2012).

Atualmente, os modelos de biodigestores mais utilizados no Brasil e no mundo foram desenvolvidos e aprimorados na China e na Índia. Destaca-se que na China comunista, com mais de um bilhão de habitantes, existe o desafio permanente de produzir alimentos em larga escala, e a Índia, extremamente pobre e faminta, é carente não somente de alimentos, mas também de energia (ALMEIDA, 2008).

Os tipos de biodigestores mais comuns estão apresentados no Fluxograma 1.

**Fluxograma 1** - Tipos de biodigestores



**Fonte:** Elaboração própria, 2022

### **Biodigestor contínuo**

Os biodigestores contínuos, quando corretamente operados, fornecem gás permanentemente.

### **Biodigestor tipo indiano**

O biodigestor tipo indiano, mostrado na Figura 4, deve ser utilizado quando existe a necessidade de um fornecimento contínuo de biogás.

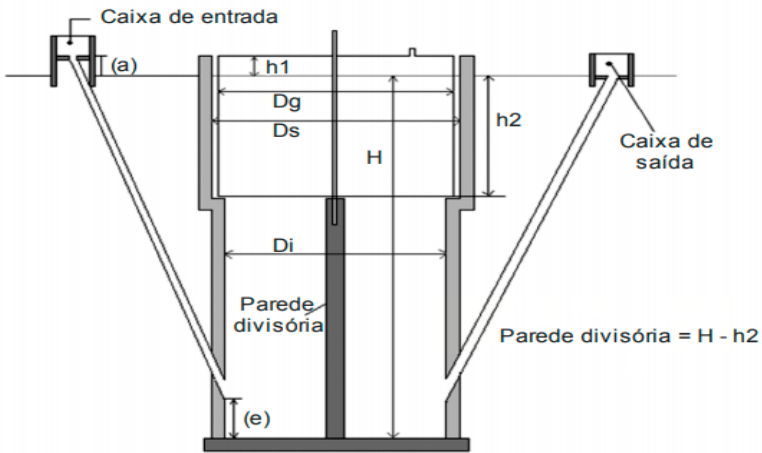
É constituído por uma câmara de digestão, construída geralmente abaixo do nível do solo, tendo em sua parte superior o acoplamento de uma campânula móvel de material impermeável e rígido que serve de tanque do biogás (gasômetro).

À medida que o volume de biogás produzido não é consumido, o gasômetro se desloca verticalmente para cima, aumentando assim o volume da câmara de armazenamento de gás, mantendo a pressão no interior dessa constante. Tendo em

vista que o gasômetro é disposto sobre o substrato ou sobre um selo de água, as perdas na produção de biogás durante o processo anaeróbio são reduzidas. A câmara de digestão pode ser construída em aço, alvenaria ou concreto, abaixo do nível do solo ou ao nível do solo. Nesse caso, o processo de digestão é afetado mais facilmente por variações de temperatura (SILVÉRIO *et al.*, 2008).

A alimentação no biodigestor deve ser diária, com uma concentração residual de no máximo 8% em volume de sólidos totais.

**Figura 4** - Biodigestor tipo indiano



**Fonte:** Deganutti *et al.*, 2002

Onde:

H: altura do nível do substrato;

Di: diâmetro interno do biodigestor;

Dg: diâmetro do gasômetro;

Ds: diâmetro interno da parede superior;

h1: altura ociosa (reservatório do biogás);

h2: altura útil do gasômetro.

### **Biodigestor do tipo chinês**

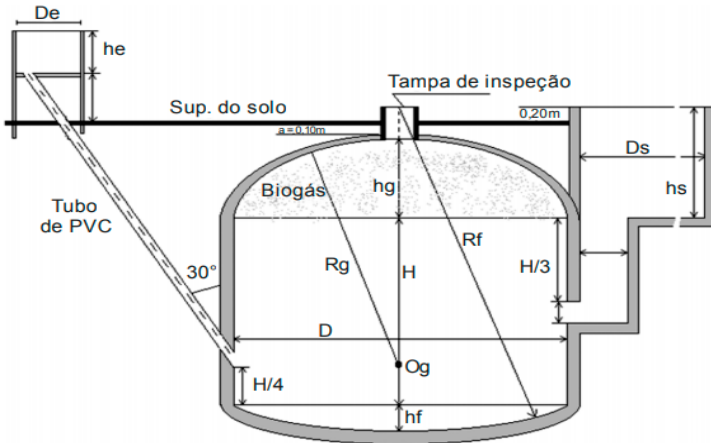
Esse tipo de biodigestor não apresenta partes móveis (gasômetro), sendo constituído por uma única câmara formada por uma única peça. Dessa forma, deve ser construído abaixo do nível do solo e pode ser construído em alvenaria ou concreto.

O funcionamento é baseado no princípio de prensa hidráulica. Com o aumento da produção de biogás, há o aumento da pressão interior da câmara, forçando o deslocamento do resíduo interno da câmara de fermentação para a caixa de saída.

Os biodigestores do tipo chinês (Figura 5) são escolhidos em instalações de pequeno e médio porte, onde a produção de biogás é elevada (SILVÉRIO *et al.*, 2008).

O fornecimento de substrato deve ser diário, com a concentração máxima de 8% em volume de sólidos totais para evitar o entupimento dos canos de entrada de efluentes e saída de afluentes, bem como para facilitar a circulação do resíduo no interior da câmara de fermentação.

**Figura 5** - Biodigestor tipo chinês



**Fonte:** Deganutti et al., 2002

Onde:

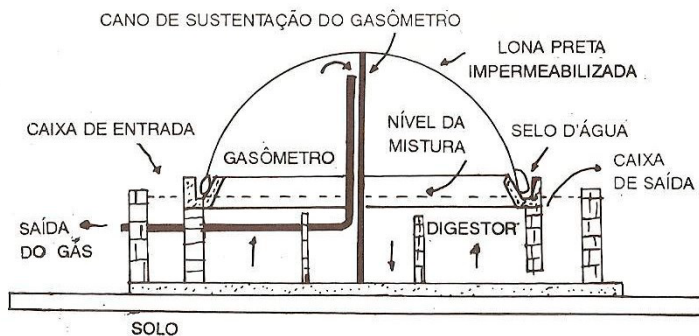
- D: diâmetro do corpo cilíndrico;
- H: altura do corpo cilíndrico;
- hg: altura da calota de gasômetro;
- hf: altura da calota do fundo;
- Og: centro da calota esférica do gasômetro;
- Rf: raio da calota esférica do fundo;
- Og: centro da calota esférica do gasômetro;
- Rg: raio da calota esférica do gasômetro;
- he: altura da caixa de entrada;
- De: diâmetro da caixa de entrada;
- hs: altura da caixa de saída;
- Ds: diâmetro da caixa de saída.

## Biodigestor modelo Marinha Brasileira

O biodigestor desenvolvido pela Marinha Brasileira apresenta uma base quadrangular, com paredes de alvenaria revestidas por lona impermeável e uma cúpula de lona preta também impermeável. É um modelo mais raso e longo, o que lhe garante uma maior profundidade de gás por massa fermentada. Sua utilização encontra maior limitação em relação ao espaço físico disponível para a instalação. Por ter uma profundidade pequena, necessita de uma extensa área superficial para que consiga armazenar uma elevada quantidade de resíduo (WANG, 1999).

O modelo ilustrado na Figura 6 é o mais indicado para projetos industriais e agroindustriais por ser versátil ao uso de diferentes resíduos orgânicos e ser capaz de armazenar grande quantidade de resíduo passível de sofrer fermentação anaeróbica, produzindo, assim, grande quantidade de biogás e estabilizando os dejetos que podem ser utilizados como biofertilizantes (HOSAKA *et al.*, 2007).

**Figura 6** - Modelo Marinha (PqM) de cúpula de lona impermeabilizada



Fonte: Barrera, 2003

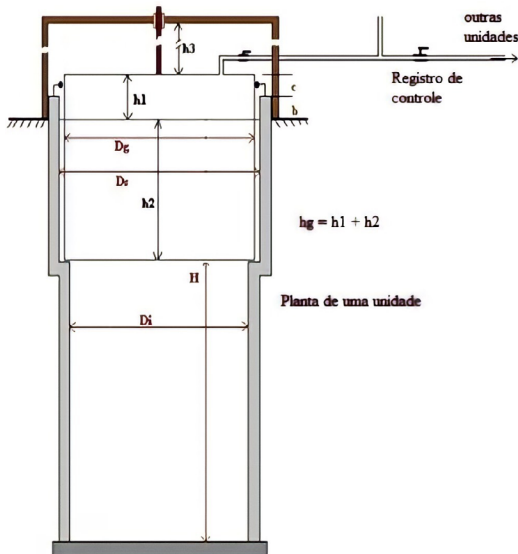
## Biodigestor descontínuo

Os biodigestores descontínuos fornecem biogás durante um certo período, sendo interrompidos para descarga do material fermentado e nova carga de material orgânico a ser digerido.

### Biodigestor tipo Batelada

Esse tipo de biodigestor (Figura 7) pode ser construído em aço, alvenaria ou concreto. Sua alimentação e produção de biogás são descontínuas. A matéria orgânica a ser digerida é colocada na câmara de digestão e então é fechada hermeticamente, sendo que só existe uma saída para o gás. Esse gás pode ser armazenado em tanque separado para posterior utilização ou ser utilizado enquanto é produzido.

**Figura 7** - Biodigestor tipo Batelada



**Fonte:** Deganutti et al., 2002

Onde:

Di: diâmetro interno do biodigestor;

Ds: diâmetro interno da parede superior;

Dg: diâmetro do gasômetro;

H: altura do nível do substrato;

h1: altura ociosa do gasômetro;

h2: altura útil do gasômetro;

h3: altura útil para deslocamento do gasômetro;

b: altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato;

c: altura do gasômetro acima da parede do biodigestor.



2.

Materiais e métodos para  
construção e uso  
do biogestor

---

## **Biomassa**

O plantio do cupuaçu está localizado em sua maioria em terra firme e em alguns locais de várzea alta (PEREIRA *et al.*, 2007). A produção de frutos por planta é bastante variável, podendo chegar a mais de 40 frutos. Estima-se, como média, 15 a 20 frutos por planta, em cultivos implantados em solos de baixa fertilidade. O rendimento médio para extração é em torno de 30% para polpa e 42% para a casca.

Tomando como base de cálculo uma área de 40 hectares, onde são plantados 4.759 cupuaçuzeiros, e tendo conhecimento de que a quantidade de casca gerada depende do peso do fruto, que pode variar de 0,5 a 4,5 kg, obtém-se:

Número médio de frutos por cupuaçuzeiro: 18 frutos  
 $4759 \times 18 = 85.662$  *frutos*

Considerando a massa média do fruto de 2,5 kg, tem-se:  
 $85.662$  *frutos*  $\times 2,5$  *kg* = 214.179,89 *kg de frutos*

Logo, em 40 ha são produzidos, em média, 214.179,89 kg de frutos, que equivalem a:  
 $214179,89 \times 0,42 = 89.955,55$  *kg de casca*

A alimentação e retirada do material orgânico no biodigestor é feita de forma contínua, com uso da gravidade, sem a necessidade de bombas. O termo não impõe uma alimentação constante, mas em intervalos regulares.

Desse modo, como o fruto é colhido uma vez ao ano, distribui-se a quantidade média de casca de cupuaçu obtida em 40 ha para alimentar o biodigestor em 365 dias (calendário do ano civil), o que corresponde a:

$$89955,55 \frac{\text{kg de casca}}{\text{ano}} \div 365 \text{ dias} = 246,45 \frac{\text{kg de casca}}{\text{dia}}$$

Admitindo um teor de 6% de umidade na casca do cupuaçu (J. MOURA, comunicação pessoal), a massa seca é:

$$246,45 \frac{\text{kg de casca}}{\text{ha . dia}} \times 0,94 = 231,66 \frac{\text{kg de casca seca}}{\text{dia}}$$

## Biodigestor

São diversos biodigestores em funcionamento no mercado nacional e internacional. Os modelos chinês, indiano e Marinha (nacional) são os mais viáveis para os produtores rurais devido ao baixo custo de sua implantação. Na tabela 6 estão representadas as características fundamentais desses reatores (OLIVEIRA, 2012):

**Tabela 6** - Comparação entre os três modelos de biodigestores

Modelo	Chinês	Indiano	Nacional (Marinha)
<b>Materiais</b>	Tijolo, cimento, pedra e areia	Tijolo, cimento, pedra, areia, ferro ou alumínio	Tijolo, cimento, pedra, areia e plástico
<b>Isolamento térmico</b>	Feito dentro da terra: bom isolamento natural, a temperatura constante	Tem perdas de calor pela câmara de gás metálica, difícil de isolar. Não indicado para climas frios	Não há problemas de perda de calor
<b>Perda de gás</b>	A parte superior deve ser protegida com materiais impermeáveis e não porosos; difícil obter construção estanque	Não há problemas	Não há problemas
<b>Matérias-primas usadas</b>	Resíduos Orgânicos		
<b>Manutenção</b>	Deve ser limpo uma ou duas vezes por ano	A câmara de gás deve ser pintada uma vez ao ano	Deve ser limpo uma vez ao ano

**Fonte:** Adaptado de Barrera, 2003

## Planejamento

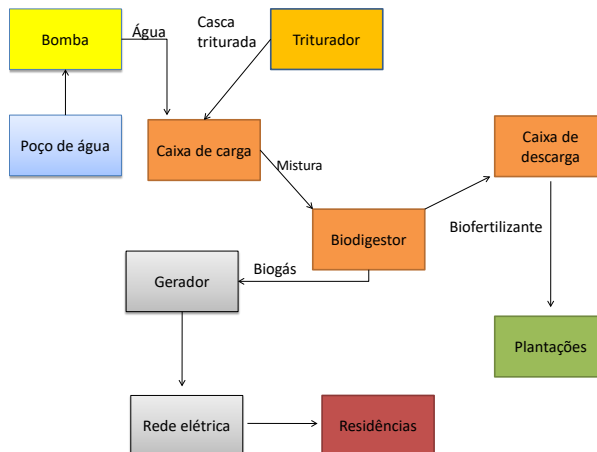
Optou-se pelo biodigestor de modelo indiano, devido à estabilidade de pressão do biogás fornecido em função da presença do gasômetro, além da simplicidade na construção e operação, proporcionando boa eficiência e baixo custo (GUTTERIDGE *et al.*, 1979).

O biodigestor será implantado na zona rural e a casca de cupuaçu consistirá no substrato utilizado na produção do biogás. Estima-se que a produção deste biocombustível deva suprir a necessidade de energia elétrica em uma comunidade com aproximadamente 22 famílias.

## Processo

O Fluxograma 2 ilustra as fases do processo de transformação da biomassa da casca do cupuaçu em biogás para geração de energia elétrica.

**Fluxograma 2** - Etapas do processo de transformação da biomassa da casca de cupuaçu em biogás para geração de energia elétrica



**Fonte:** Santos *et al.*, 2004

As fases do processo são detalhadas a seguir:

(a) Primeiramente, os frutos de cupuaçu serão recolhidos e lavados para a máxima retirada das impurezas da casca. Os frutos serão despolpados, visto que a polpa do cupuaçu é utilizada para fins comerciais. A casca dos frutos despolpados, que geralmente é rejeitada, será recolhida, armazenada e utilizada para a geração de energia elétrica;

(b) A quantidade de casca de cupuaçu necessária e já estipulada para a alimentação diária do biodigestor será levada a um triturador e este reduzirá ao máximo os particulados;

(c) A biomassa triturada será transferida do triturador para a caixa de carga através de uma esteira. A caixa de carga é o primeiro reservatório do sistema (caixa de carga + biodigestor + caixa de descarga), onde é feita a mistura dos componentes a serem processados (casca do cupuaçu + água);

(d) Após a casca de cupuaçu triturada ser conduzida à caixa de carga, é necessário que a mesma quantidade de água seja adicionada, visto que a proporção biomassa: água é de 1:1. A água será captada de um poço artesiano, e uma bomba conduzirá a água até a caixa de carga;

(e) A solução deve ser agitada e após a completa mistura dos componentes, o registro da caixa de carga deverá ser aberto para que a mistura escoe para o interior do reservatório do biodigestor;

(f) O tempo de residência da mistura no biodigestor será de 20 dias;

(g) Durante o processo, o gasômetro acumula o gás proveniente da decomposição dos resíduos orgânicos e os resíduos orgânicos são armazenados no biodigestor;

(h) O registro localizado do lado externo do biodigestor será aberto e o biogás armazenado no gasômetro será conduzindo através de encanamento para o gerador de energia elétrica com motor à combustão;

(i) Após a ação das bactérias, os resíduos escoam para a caixa de descarga e poderão ser utilizados como biofertilizantes. A biodigestão anaeróbia é capaz de reduzir consideravelmente o volume de organismos patogênicos nos resíduos orgânicos. Isso torna a aplicação de biofertilizantes mais segura. As razões para a redução dos seres patogênicos são diversas, porém a mais significativa é o fato de que o resíduo é mantido sem oxigênio por bastante tempo.

## Dimensionamento

Para sustentar a comunidade, o tempo de residência do material no biodigestor precisa ser equivalente a 20 dias. Nesse tipo de biodigestor, o material desloca-se verticalmente, devendo estar misturado com água até uma consistência aproximada de um “creme”. Por essa razão é que foi adotada a diluição de 1:1 (água: casca de cupuaçu), em que a produção diária de mistura água-biomassa que deve ser colocado no biodigestor é:

$$\begin{aligned} \text{Produção de mistura água-biomassa} &= 492,90 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} \\ \text{Este cálculo foi baseado na densidade da mistura} &= \\ &944,52 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$VB = VC \times \text{TRH}$$

$$V = \frac{944,52 \text{ kg/m}^3}{492,90 \text{ kg}} = 1,91 \text{ m}^3$$

VB = Volume do Biodigestor

VC = Volume da casca + volume de água

TRH = Tempo de retenção hidráulica

$$VB = 1,91 \times 20 = 38,32 \text{ m}^3$$

Levando em conta o cálculo acima, o biodigestor será construído com capacidade de 40 m<sup>3</sup>, considerando que ocorrerá reação anaeróbica, para evitar entupimento ou excesso de pressão na válvula de saída do biogás.

## Determinação das dimensões do biodigestor indiano

Volume útil do biodigestor (Vu):

$$Vu = 38,32 \text{ m}^3$$

Volume bruto do biodigestor (Vb):

$$Vb: 40,00 \text{ m}^3$$

Diâmetro interno do biodigestor (Di):

$$Di = 3,57 \text{ m}$$

Determinação da altura do biodigestor (H):

$$Vb = \frac{\pi \times Di^2 \times H}{4} \rightarrow 40,00 = \frac{\pi \times 3,57^2 \times H}{4} \rightarrow H = 4,00 \text{ m}$$

Determinação do diâmetro do gasômetro (Dg):

$$Dg = Di + 0,10 \rightarrow Dg = 3,57 + 0,10 \rightarrow Dg = 3,67 \text{ m}$$

Determinação do diâmetro interno superior (Dis):

$$Dis = Dg + 0,10 \text{ (folga)} \rightarrow Dis = 3,67 + 0,10 \rightarrow Dis = 3,77 \text{ m}$$

Determinação do diâmetro externo superior (Des):

$$Des = Dis + 0,40 \text{ (0,20 m x 2 de espessura de cada tijolo$$

$$\text{maciço}) \rightarrow Des = 3,77 + 0,40$$

$$Des = 4,17 \text{ m}$$

Determinação do diâmetro externo inferior (Dei):

$$Dei = Di + 0,40 \text{ (0,20 m x 2 de espessura de cada tijolo$$

$$\text{maciço}) \rightarrow Dei = 3,57 + 0,40$$

$$Dei = 3,97 \text{ m}$$

Determinação do volume do gasômetro (Vg):

A partir da suposição de que 50% do volume de gás

produzido será armazenado durante a noite e o restante consumido durante o dia, pode-se calcular o volume do biodigestor da seguinte forma:

$$\text{Volume do gasômetro} = \frac{\text{Volume de biogás produzido por dia}}{2}$$

$$\rightarrow \text{Volume do gasômetro} = \frac{26,67 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}}{2} \rightarrow \text{Volume do gasômetro} = 13,33 \text{ m}^3$$

Determinação da altura útil do gasômetro ( $h_2$ ):

$$Vg = \frac{\pi \times Dg^2 \times h_2}{4} \rightarrow 13,33 = \frac{\pi \times 3,67^2 \times h_2}{4} \rightarrow h_2 = 1,26 \text{ m}$$

Porém, considerando uma margem de erro de 10%, tem-se:

$$h_2 = 1,1 \times 1,26 \rightarrow h_2 = 1,38 \text{ m.}$$

Determinação da altura ociosa do gasômetro ( $h_1$ ):

A altura ociosa pode ser considerada igual a 0,20 m, portanto:

$$h_1 = 0,20 \text{ m}$$

Determinação da altura do gasômetro ( $Hg$ ):

$$Hg = h_1 + h_2 \rightarrow Hg = 0,20 + 1,38 \text{ m} \rightarrow Hg = 1,58 \text{ m}$$

Determinação das dimensões das caixas de carga e descarga:

O volume a ser adicionado diariamente no biodigestor é de  $1,91 \text{ m}^3$ , sendo assim, as caixas de carga e descarga devem apresentar as seguintes dimensões:

$$1,24 \text{ m} \times 1,24 \text{ m} \times 1,24 \text{ m}$$

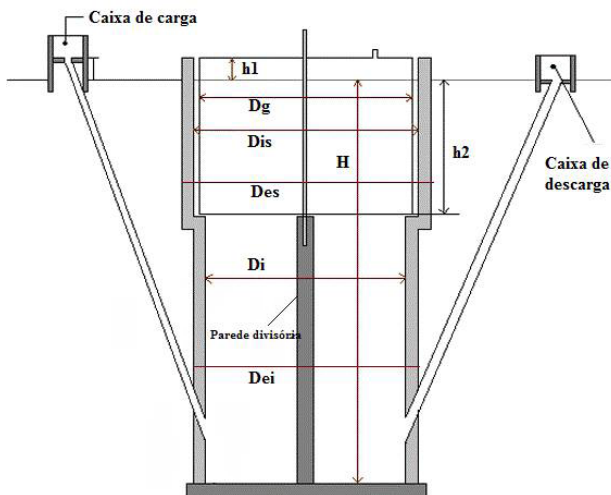
Os parâmetros calculados anteriormente foram resumidos na Tabela 7 e na Figura 8.

**Tabela 7** - Parâmetros calculados para a implantação do biodigestor indiano

<b>Dimensões</b>	<b>Valores</b>
$V_u$	38,32 m <sup>3</sup>
$V_b$	40,00 m <sup>3</sup>
$D_i$	3,57 m
$D_g$	3,67 m
$D_{is}$	3,77 m
$D_{es}$	4,17 m
$D_{ei}$	3,97 m
$H$	4,00 m
$V_g$	13,33 m <sup>3</sup>
$h_2$	1,38 m
$h_1$	0,20 m
$h_g$	1,58 m

**Fonte:** Xavier e Lucas Júnior, 2010

**Figura 8** - Representação do biodigestor dimensionado



**Fonte:** Xavier e Lucas Júnior, 2010

## Dimensionamento da bomba

Dados da instalação:

Altura de sucção (desnível entre a bomba e a lâmina d'água do reservatório inferior):

$$A_s = 3,00 \text{ metros}$$

Altura de recalque (desnível entre a bomba e o ponto mais alto da instalação):

$$A_R = 2,00 \text{ metros}$$

Comprimento da tubulação (comprimento da tubulação de sucção + comprimento da tubulação de recalque):

$$C_T = 30,00 \text{ metros}$$

Comprimento da tubulação de sucção ( $C_{TS}$ ):

$$C_{TS} = 7,00 \text{ m}$$

Comprimento da tubulação de recalque ( $C_{TR}$ ):

$$C_{TR} = 23,00 \text{ m}$$

Determinação da vazão (Q):

Cálculo do consumo solicitado:

$$Q = \frac{246,45 \text{ L}}{2h} \rightarrow Q = 123,23 \frac{\text{L}}{h} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \rightarrow Q = 0,123 \text{ m}^3/h$$

Escolha do diâmetro da tubulação:

Deve-se localizar, na tabela abaixo, a linha onde está o valor de vazão desejado. No caso em estudo, o valor desejado é de 0,5 m<sup>3</sup>/h, visto que este é o menor valor de vazão representado na tabela. Após localizada a linha do valor da vazão, deve-se seguir horizontalmente para a direita até o primeiro valor após a linha em negrito. Este valor é o fator

percentual de perda de carga ( $F_{PC}$ ). A partir desse valor, deve-se subir verticalmente até encontrar o diâmetro indicado para a vazão informada. Dessa forma:

**Figura 9 - Perda de Carga em Tubulações**

Perda de Carga em Tubulações (Valores em %)																				
Percentagem de perda de carga ao longo de 100 metros de tubulação nova de pvc ou tubos de ferro fundido ou galvanizado																				
Vazão m <sup>3</sup> /h	PVC	F°F*	PVC	F°F*	PVC	F°F*	PVC	F°F*	PVC	F°F*	PVC	F°F*	PVC	F°F*	PVC	F°F*	PVC	F°F*	PVC	F°F*
	3/4" (25 mm)		1" (32 mm)		1 1/4" (40 mm)		1 1/2" (50 mm)		2" (60 mm)		2 1/2" (75 mm)		3" (85 mm)		4" (110 mm)		5" (140 mm)		6" (160 mm)	200 mm
0,5	1,5	1,3	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1												
1,0	4,9	4,8	1,6	1,6	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1										
1,5	10,0	10,1	3,3	3,4	0,9	0,9	0,5	0,4	0,1	0,1										
2,0	16,5	17,2	5,4	5,8	1,4	1,5	0,8	0,7	0,2	0,2	0,1	0,1								
2,5	24,4	26,1	8,0	8,8	2,1	2,3	1,2	1,1	0,4	0,3	0,1	0,1								
3,0	33,6	36,5	11,0	12,3	2,9	3,2	1,6	1,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1						
3,5	44,0	48,6	14,4	16,4	3,8	4,2	2,1	2,0	0,6	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1						
4,0	55,6	62,2	18,2	21,0	4,8	5,4	2,7	2,6	0,8	0,8	0,2	0,2	0,1	0,1						
4,5	68,3	77,3	22,3	26,1	6,0	6,7	3,3	3,2	1,0	1,0	0,3	0,3	0,1	0,1						
5,0	82,2	94,0	26,8	31,7	7,2	8,1	4,0	3,9	1,2	1,2	0,3	0,3	0,1	0,2						
5,5	97,1		31,7	37,8	8,5	9,7	4,7	4,6	1,4	1,4	0,4	0,4	0,2	0,2		0,1				
6,0			36,9	44,4	9,9	11,4	5,4	5,4	1,6	1,7	0,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1				
6,5			42,5	51,5	11,3	13,2	6,3	6,3	1,9	2,0	0,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1				
7,0			48,4	59,1	12,9	15,2	7,1	7,2	2,1	2,3	0,6	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1				
7,5			54,6	67,1	14,6	17,2	8,0	8,2	2,4	2,6	0,7	0,7	0,3	0,3	0,1	0,1				
8,0			61,1	75,6	16,3	19,4	9,0	9,2	2,7	2,9	0,8	0,8	0,3	0,4	0,1	0,1				
8,5			67,9	84,6	18,1	21,7	10,0	10,3	3,0	3,2	0,8	0,9	0,4	0,4	0,1	0,1				
9,0			75,1	94,0	20,0	24,1	11,1	11,5	3,3	3,6	0,9	1,0	0,4	0,5	0,1	0,1				
9,5			82,5		22,0	26,7	12,2	12,7	3,6	4,0	1,0	1,1	0,4	0,5	0,1	0,1				
10			90,3		24,1	29,3	13,3	13,9	4,0	4,4	1,1	1,2	0,5	0,5	0,1	0,2	0,1			

**Fonte:** Xavier e Lucas Júnior, 2010

Diâmetro da tubulação de recalque ( $D_R$ ):

$$D_R = 25,00 \text{ mm}$$

Diâmetro da tubulação de sucção ( $D_S$ ):

$$D_S = 25,00 \text{ mm}$$

Determinação da perda de carga ( $P_C$ ):

$$P_C = C_T \times F_{PC} (\%)$$

$$P_C = 30,00 \times 1,5 \%$$

$$P_C = 0,45 \text{ m c.a.}$$

Determinação da altura manométrica total ( $A_{MT}$ ):

$$A_{MT} = A_R + A_S + P_C$$

$$A_{MT} = 3,00 + 2,00 + 0,45$$

$$A_{MT} = 5,45 \text{ m c.a.}$$

Deve-se acrescentar 5% para considerar as perdas de carga nas tubulações, sendo assim:

$$A_{MT} = 5,45 + (0,05 \times 5,45)$$

$$A_{MT} = 5,72 \text{ m c.a.}$$

Escolha da bomba:

A bomba escolhida é a Schneider BAR - 400, geralmente utilizada em residências, chácaras, poços de ponteira e redes de baixa pressão. As informações relacionadas a essa bomba encontram-se na tabela abaixo:

**Tabela 8** - Bomba

<b>Altura máxima de sucção (m c.a.)</b>	<b>8</b>
<b>Potência (cv)</b>	1/4
<b>Potência máxima consumida (W)</b>	400

Determinação do  $NPSH_{\text{disponível}}$ :

$$NPSH_{\text{disponível}} = H_o - H_v - P_{CS} \pm A_s$$

Onde:

Pressão atmosférica ( $H_o$ ):  $H_o = 10,33$  m c.a. (determinado a partir dos dados da tabela abaixo);

Pressão de vapor da água ( $H_v$ ):  $H_v = 0,34$  m c.a. (determinado a partir dos dados da tabela abaixo);

Perda de carga na sucção ( $P_{CS}$ ):  $P_{CS} = 10,50$  m c.a. (determinado abaixo);

Altura de sucção ( $A_s$ ) - será negativa quando a bomba estiver afogada; será positiva quando a bomba estiver acima do nível d'água:  $A_s = 3,00$  m.

**Figura 10** - Pressão atmosférica e Vapor D'água

<b>Dados de Pressão Atmosférica para Determinadas Altitudes Locais</b>										
Altitude em Relação ao Nível do Mar (m)	0	150	300	450	600	750	1000	1250	1500	2000
Pressão Atmosférica (m c.a.)	10,33	10,16	9,98	9,79	9,58	9,35	9,12	8,83	8,64	8,08
<b>Pressão de Vapor d'Água para Determinadas Temperaturas</b>										
Temperatura da Água (°C)	0	4	10	20	30	40	50	60	80	100
Pressão de Vapor da Água (m c.a.)	0,062	0,083	0,125	0,239	0,433	0,753	1,258	2,033	4,831	10,33

**Fonte:** Simões, s.d.

Determinação da perda de carga na sucção  $P_{CS}$ :

$$P_{CS} = C_{TS} \times F_{PC} (\%)$$

$$P_{CS} = 7 \times 1,5 (\%)$$

$$P_{CS} = 10,50 \text{ m c.a.}$$

$$\begin{aligned} \text{NPSH}_{\text{disponível}} &= H_o - H_V - P_{CS} \pm A_s \\ \text{NPSH}_{\text{disponível}} &= 10,33 - 0,34 - 10,50 + 3,00 \\ \text{NPSH}_{\text{disponível}} &= 2,49 \text{ m} \end{aligned}$$

Determinação do  $\text{NPSH}_{\text{requerido}}$ :

Algumas bombas mais antigas, ao invés de apresentarem os valores de  $\text{NPSH}_{\text{requerido}}$  em função da vazão, apresentam os valores de altura máxima de sucção ( $A_{MS}$ ).

$$\text{NPSH}_{\text{requerido}} = 10 - A_{MS} - \frac{V^2}{2Xg} + 0,5$$

Determinação da velocidade de sucção ( $V_s$ ):

$$V_s = \frac{4 \times Q}{\pi \times D_s^2} \rightarrow V_s = \frac{4 \times (3,22 \times 10^{-5})}{\pi \times 0,028^2} \rightarrow 0,055 \text{ m/s}$$

$$\text{NPSH}_{\text{requerido}} = 10 - 8 - \frac{0,055^2}{2X9,81} + 0,5$$

$$\text{NPSH}_{\text{requerido}} = 1,49 \text{ m}$$

Cavitação:

É um fenômeno semelhante à ebulição, que pode ocorrer com água em regiões de baixa pressão do sistema de recalque durante um processo de bombeamento, ou seja, na canalização de sucção, e é identificado por ruídos e vibrações. Essas bolhas de vapor de água implodem quando chegam a regiões de maior pressão, havendo liberação de energia, que por sua vez é absorvida pelo rotor ou palhetas da bomba. Como esse processo é contínuo e sempre ocorre no mesmo local, acaba provocando estragos por perda de resistência mecânica. Para evitar tal fenômeno, deve-se analisar os NPSHs disponível

e requerido. O NPSH disponível refere-se à carga energética líquida e disponível na instalação para permitir a sucção do fluido, ou seja, diz respeito às grandezas físicas associadas à instalação e ao fluido (WAMPLER *et al.*, 1987). O NPSH requerido é a carga energética líquida requerida pela bomba para promover a sucção, é objeto de estudo do fabricante, sendo fornecido graficamente através de catálogos ou calculado, no caso de bombas mais antigas, a partir da informação “altura máxima de sucção” também fornecida pelo fabricante (SMITH, 1997). Para evitar cavitação,  $NPSH_{disponível} > NPSH_{requerido}$  e como  $2,49 > 1,49$ , o fenômeno de cavitação não ocorrerá.

## Lista de materiais

### Poço do biodigestor, carga e descarga

Areia lavada .....	10 m <sup>3</sup>
Brita .....	2,8 m <sup>3</sup>
Cimento .....	66 sacos (3300 kg)
Tijolo ou blocos (10 x 15 x 23 cm) .....	19200
Tubo 100 mm de diâmetro .....	21,5 m

### Campânula – cuia central

Cantoneira .....	30 m
Chapa (2,5 mm) .....	4,3 m
Tubo de 50 mm .....	1,0 m <sup>2</sup>

## **Campânula**

Cantoneira .....	64 m
Chapa (2,6 mm) .....	22,5 m
Chapa (espessura indiferente) .....	1,0 m
Ferro chato .....	8,1 m
Tubo de 65 mm .....	2,9 m

Acessórios para tubos (uniões, registros etc.)

Tinta anticorrosiva ..... 60 kg

## **Determinação da quantidade de biogás gerada**

Tendo o conhecimento de que o volume do biodigestor é de  $40,00 \text{ m}^3$ , é possível calcular a quantidade de biogás que será produzida a partir da seguinte relação (ROBERT *et al.*, 1990):

$1,50 \text{ m}^3$  de biodigestor  $\rightarrow 1,00 \text{ m}^3$  de biogás/dia

Dessa forma:

$1,50 \text{ m}^3$  de biodigestor  $\rightarrow 1,00 \text{ m}^3$  de biogás/dia

$40,00 \text{ m}^3$  de biodigestor  $\rightarrow 26,67 \text{ m}^3$  de biogás/dia

## **Determinação do equivalente em energia elétrica**

Tendo o conhecimento que a quantidade diária de biogás produzida pelo biodigestor a ser implantado é de  $26,67 \text{ m}^3$ , é possível calcular o equivalente em energia elétrica a partir da seguinte relação (IRWIN, 1982):

$0,60 \text{ m}^3$  de biodigestor  $\rightarrow 1,00 \text{ kWh}$

Dessa forma:

$$\begin{aligned} 0,60 \text{ m}^3 \text{ de biogás/dia} &\rightarrow 1,00 \text{ kWh/dia} \\ 26,77 \text{ m}^3 \text{ de biogás/dia} &\rightarrow 44,62 \text{ kWh/dia} \end{aligned}$$

Considerando que 1 mês possui 30 dias, calcula-se a quantidade de energia elétrica gerada por mês:

$$44,62 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \times 30 \text{ dias} = 1.338,60 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}}$$

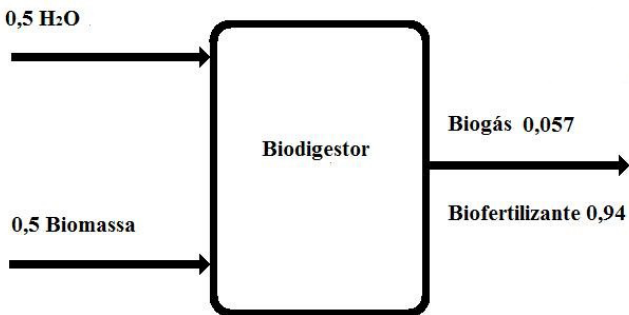
Supondo que uma família ribeirinha gaste 60 kWh de energia elétrica por mês, e a partir da quantidade mensal gerada calculada acima, tem-se:

$$1.338,60 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}} \div 60 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}} = 22 \text{ famílias ribeirinhas}$$

## Balanço de massa

Levando em conta que a solução que entra no biodigestor diariamente é de 492,9 kg numa proporção de 1:1, e com base na Tabela 5, montou-se o sistema do reator conforme mostrado na Figura 11.

**Figura 11** - Balanço de massa no sistema do reator projetado



**Fonte:** Elaboração própria, 2021

Sabendo que o biodigestor de 40 m<sup>3</sup> produz 26,67 m<sup>3</sup> de biogás, obteve-se o volume dos gases CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>:

$$26,67 \text{ m}^3 \times 0,7 = 18,669 \text{ m}^3 \text{ de } CH_4$$

$$26,67 \text{ m}^3 \times 0,25 = 6,660 \text{ m}^3 \text{ de } CO_2$$

$$26,67 \text{ m}^3 \times 0,002 = 0,5334 \text{ m}^3 \text{ de } H_2$$

$$26,67 \text{ m}^3 \times 0,03 = 0,800 \text{ m}^3 \text{ de } N_2$$

Como o volume molar dos gases é 22,4 L na CNTP, tem-se:

$$\frac{18.669 \text{ L} \times 16 \text{ g de } CH_4}{22,4 \text{ L}} = 13.335 \text{ g} \cong 13,33 \text{ kg de } CH_4$$

$$\frac{6.667 \text{ L} \times 44 \text{ g de } CO_2}{22,4 \text{ L}} = 13.095 \text{ g} \cong 13,09 \text{ kg de } CH_2$$

$$\frac{533,4 \text{ L} \times 2 \text{ g de } H_2}{22,4 \text{ L}} = 47,62 \text{ g} \cong 0,047 \text{ kg de } H_2$$

$$\frac{800 \text{ L} \times 28 \text{ g de } N_2}{22,4 \text{ L}} = 1.000 \text{ g} \cong 1 \text{ kg de } N_2$$

**Tabela 9** - Compilação dos dados do cálculo do balanço de massa

<b>Componentes presentes no biogás</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Fração Mássica</b>
CH <sub>4</sub>	13,33	0,485
CO <sub>2</sub>	13,09	0,476
H <sub>2</sub>	0,047	0,002
N <sub>2</sub>	1	0,037
O <sub>2</sub>	Desprezível	-
<b>Total</b>	<b>27,467</b>	<b>1</b>

# 3.

Resultados e análise dos resultados da aplicação de cupuaçuzeiros à operação do biodigestor modelo indiano

---

Com base nas necessidades básicas da utilização de energia e no referencial teórico, os resultados demonstram que 40 hectares de cupuaçuzeiros são suficientes para produzir 246,45 kg de casca por dia, que são misturadas com água na proporção 1:1 para alimentar o reator. Visto que o sistema de operação do biodigestor de modelo indiano é constante e o abastecimento é contínuo, espera-se, após os primeiros 20 dias, que o mesmo terá capacidade de gerar 26,67m<sup>3</sup> de biogás/dia o equivalente a 1.338,60 kwh/mês, suficiente para manter as necessidades de 22 famílias na região indicada.

De acordo com o balanço de massa realizado pelo método dos sistemas multicompostos, os componentes de entrada (casca e água) e saída (biogás e biofertilizantes) apresentam resultados satisfatórios, mantendo um equilíbrio na vazão de entrada e saída, isto é, 492,9 kg dos componentes de mistura (casca e água) alimentando o reator, gerando 27,467 kg de biogás e 466,43 kg de biofertilizantes.

O balanço de energia no sistema não foi realizado por falta de informações disponíveis na literatura, para realização do mesmo são necessárias informações como as fórmulas molecular e estrutural da casca do cupuaçu ou o valor da entalpia equivalente à queima dessa biomassa para equacionar a reação e obter os dados necessários em processos de combustão, completos ou não. Tendo conhecimento de que o biodigestor indiano funciona em sistema estacionário, ou seja, com as variáveis constantes mantendo sua temperatura devido ao local de instalação, então se pode dizer que  $\Delta E = 0$  (ANDERSON; ERICSSON, 1979).



4.

Formas de obter biogás

## **Biodigestor**

Biodigestor é o meio onde ocorre a biodigestão, que é definida como o processo de degradação, transformação ou decomposição de matéria orgânica em gases de efeito útil, a digestão é realizada sem a presença de oxigênio, ou seja, anaeróbico devido às bactérias que são encontradas nos resíduos orgânicos.

### **Modelos de biodigestores**

Existem vários tipos de biodigestores, mas, em geral, todos são compostos basicamente de duas partes: um recipiente (tanque), para abrigar e permitir a digestão da biomassa, e o gasômetro (campânula), para armazenar o biogás. Em relação ao abastecimento de biomassa, o biodigestor pode ser classificado como:

- Os de produção descontínua (batelada), onde o equipamento fica totalmente fechado, sendo aberto somente quando for produzido o biogás, o que acontece em torno de 90 dias. Após a fermentação, o biodigestor é aberto, limpo e novamente carregado.
- Os de produção contínua, em que a produção pode acontecer por um longo período, sem que haja a necessidade de abertura do equipamento. O material para decomposição é colocado ao mesmo tempo em que o adubo é retirado.



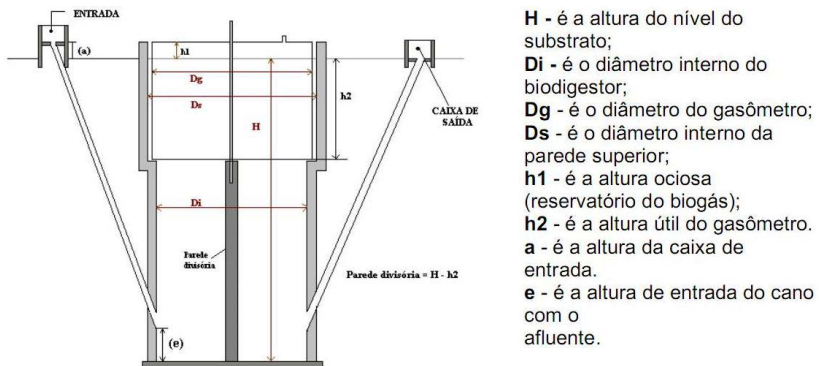
## Biodigestor indiano

O modelo indiano é o mais usado no Brasil devido à sua funcionalidade. Quando construído, apresenta o formato de um poço, que é o local onde ocorre a digestão da biomassa, coberto por uma tampa cônica, isto é, pela campânula flutuante que controla a pressão do gás metano e permite a regulagem da emissão do mesmo. Sua cúpula, geralmente feita de ferro ou fibra, é móvel. Movimenta-se para cima e para baixo de acordo com a produção de biogás. Neste tipo de biodigestor, o processo de fermentação acontece mais rápido, pois aproveita a temperatura do solo que é pouco variável, favorecendo a ação das bactérias.

Ele caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras.

Outra razão para sua maior difusão está no fato de o outro modelo, o chinês, exigir a observação de muitos detalhes para a sua construção.

**Figura 13** - Biodigestor modelo indiano



**Fonte:** Deganutti et al., 2002

## **Biodigestor canadense**

O biodigestor canadense é caracterizado pela largura maior que a sua profundidade, dessa maneira tem uma área maior de exposição ao sol, o que favorece a produção de biogás em climas quentes pela elevação da temperatura (CASTANHO; ARRUDA, 2008). Esse modelo é indicado para grandes volumes de dejetos e para grandes empresas, devido ao seu alto custo.

Esse é o biodigestor mais utilizado nas propriedades do Sul brasileiro, devido à grande quantidade de criação de bovinos e suínos. Ele é constituído por uma caixa de entrada, para onde são canalizados os dejetos provenientes das unidades criadoras, uma câmara de fermentação subterrânea revestida com material impermeabilizante; campânula superior construída com lona plástica para reter o biogás produzido, uma caixa de saída, por onde passa o efluente final sendo conduzido para uma esterqueira; um registro para saída do biogás e um incinerador de biogás (PEREIRA et al., 2009).

**Figura 14** - Biodigestor modelo canadense



**Fonte:** Silva et al., 2012

## Subprodutos gerados

- Gás metano, também conhecido como biogás, que pode ser usado para o aquecimento de fogões, geração de energia elétrica, combustível para motores de combustão interna, lâmpadas etc.;
- Adubo orgânico, que é a parte sólida depositada no fundo do equipamento, após a produção de biogás;
- Parte líquida que corresponde ao efluente tratado. Esse líquido pode ser usado para a produção de microalgas que servem de insumos para criação de peixes.

## Gaseificadores

A gaseificação é definida como a conversão da biomassa, ou de qualquer combustível sólido, em um gás energético, através da oxidação parcial a temperaturas elevadas. Essa conversão pode ser realizada em vários tipos de reatores, tais como reatores de leito fixo e de leito fluidizado.

Em termos leigos, consiste simplesmente em uma queima com pouco ar (oxigênio), resultando, além de  $\text{CO}_2$ , em  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  e  $\text{CH}_4$ , gases que ainda podem ser queimados em um motor ou em uma turbina, gerando potência mecânica e eletricidade.

### Modelos de gaseificadores

- Gaseificador de leito fixo
- Gaseificador de leito fluidizado ou leito circulante

O gaseificador de leito fixo se divide em dois subgrupos: os de circulação de gases co-corrente (“*downdraft*”) e contracorrente (“*updraft*”).

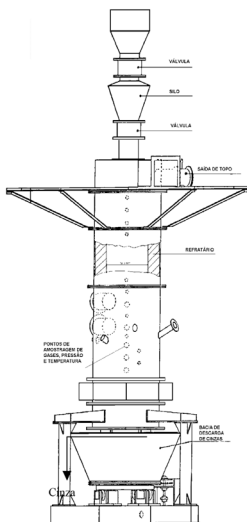
## **Gaseificador de leito fixo**

Esse sistema apresenta a vantagem de utilizar uma tecnologia simples, porém há um limite de dimensionamento à planta de 10-15 ton biomassa seca por hora, e normalmente opera a uma temperatura de 1000 °C. Dependendo da direção do fluxo de ar, os gaseificadores de leito fixo são classificados em: contracorrente («updraft») e co-corrente («downdraft»).

### **Gaseificador contracorrente**

É o projeto mais antigo e simples que ainda é largamente utilizado para a gaseificação de carvão mineral e, em menor escala, para gaseificação de biomassa. Simplicidade operacional e habilidade de gaseificar materiais com elevado teor de água e material inorgânico, como resíduo municipal.

**Figura 15** - Gaseificador contracorrente do IPT

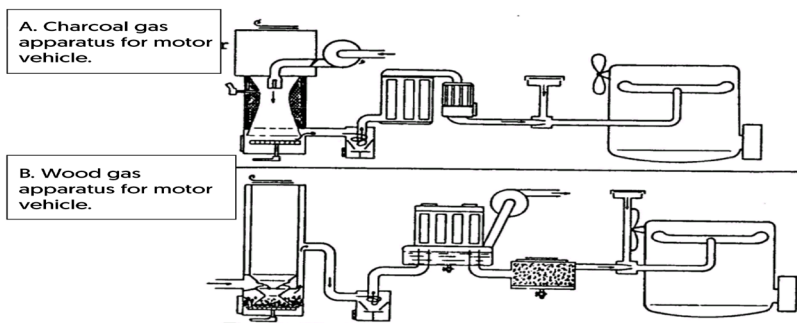


**Fonte:** Ushima, 1996

## **Gaseificador co-corrente**

Consome entre 99% a 99,9% do alcatrão; dessa forma, o gás gerado pode ser transportado em tubulações e utilizado em motores com um mínimo de limpeza. O gaseificador co-corrente é um sistema comprovado, com mais de um milhão de veículos utilizando esse sistema durante a 2ª Guerra Mundial.

**Figura 16** - Gaseificador co-corrente do IPT



**Fonte:** Ushima, 2004

## **Gaseificador de leito fluidizado ou leito circulante**

Esse sistema tem vantagem de fornecer uma distribuição uniforme da temperatura, possibilitando um bom contato entre sólido e gás e uma boa circulação das partículas de biomassa, além de alta velocidade de reação. Esse tipo de gaseificador normalmente utiliza um leito de areia com granulometria média de 250mm, que geralmente intensifica a troca de calor entre as partículas, aumentando a eficiência do processo. O gaseificador de leito fluidizado permite trabalhar com uma ampla faixa de combustíveis sólidos, além de ser um sistema de maior capacidade produtiva.

## **Pirolisadores**

A palavra pirólise possui origem grega e significa “decomposição pelo calor”, ou seja, a degradação de um material por energia térmica. No entanto, pirólise analítica é uma técnica de caracterização de determinado material, na ausência de oxigênio, pelas reações de degradação químicas induzidas por energia térmica. Esse processo resulta em um conjunto de pequenas espécies moleculares, as quais são relacionadas à composição da amostra original.

A pirólise é a decomposição térmica na ausência de oxigênio. É a primeira etapa dos processos de combustão e gaseificação. A pirólise da biomassa produz gás, líquido e sólido. O gás é composto de monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarbonetos leves. O líquido de coloração escura é chamado de bio-óleo e o sólido de carvão vegetal. Os rendimentos e a qualidade dos produtos são influenciados pelas condições operacionais empregadas. A pirólise recebe diferentes denominações dependendo das condições utilizadas. Na pirólise lenta, ou carbonização, são empregadas baixas temperaturas e longos tempos de residências, favorecendo a produção de carvão vegetal. Altas temperaturas e longos tempos de residência favorecem a formação de gases. Temperaturas moderadas e baixo tempo de residência dos gases favorecem a produção de líquidos (bio-óleo).

### **Modelos de pirolisadores**

O instrumento para o desenvolvimento da pirólise é denominado pirolisador, sendo classificado como de modo contínuo e pulsado. O primeiro inclui os de fornos ou microfornos, e são pré-aquecidos na temperatura da pirólise final, antes da introdução da amostra. Já os de modo

pulsado incluem sistema usando filamento resistivamente aquecido, ou metal ferromagnético indutivamente aquecido com radiofrequência. O último é chamado de pirolisador de Ponto Curie (PC).

### ***Pirolisador de microforno***

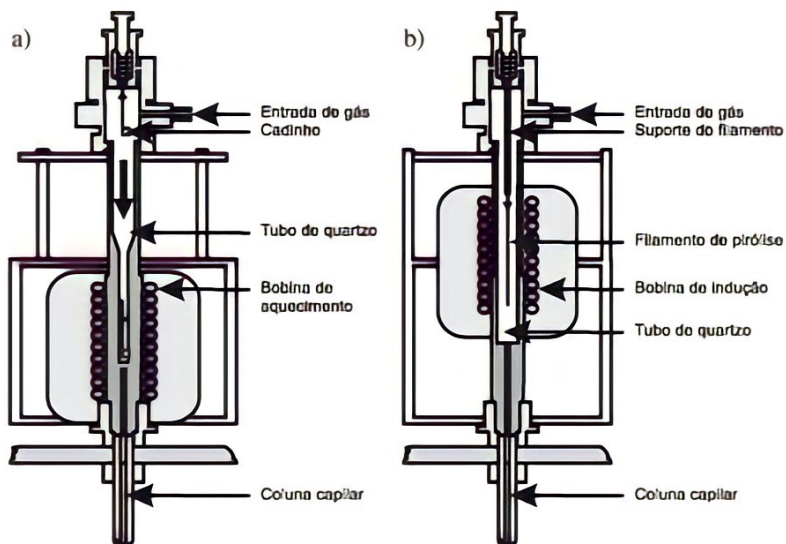
O pirolisador de microforno caracteriza-se por ser aquecido previamente, sem a presença da amostra, na temperatura desejada. Em seguida, o cadinho contendo a amostra a ser pirolisada é lançado no reator (tubo de quartzo). A quantidade de amostra deve ser extremamente pequena, geralmente menor que 0,1mg, para facilitar o aquecimento.

### ***Pirolisador de Ponto de Curie (PC)***

No pirolisador PC, a amostra é depositada na superfície do filamento com o Ponto de Curie adequado. Em seguida, o metal é aquecido.

Quando se empregam pirolisadores PC, é necessário escolher filamento metálico adequado para cada tipo de amostra. Uma limitação dessa técnica é a mudança nas características térmicas do filamento em razão do excesso de uso ou da utilização de alguns reagentes, que podem danificar a qualidade das pirólises subsequentes.

**Figura 17** - (a) Pirolisador de microforno e (b) Pirolisador de Ponto de Curie



**Fonte:** Ushima, 1996

A close-up photograph of soil and a plant root. The soil is dark brown and textured, with some lighter spots. A plant root is visible in the foreground, curving from the bottom left towards the center. The lighting is warm and focused, creating a sense of depth and texture.

5.

Benefício do biogás para a  
propriedade rural

---

Analisando as formas de obtenção de biogás e levando em consideração a viabilidade e o custo para pequenos e médios agricultores, conclui-se que a implantação de biodigestores nas propriedades rurais é mais adequada.

A utilização do biogás nas propriedades rurais tem vários pontos positivos, como a diminuição de desmatamento para a produção de lenha a ser utilizada nas cozinhas, conseqüentemente evitando a erosão do solo, a proliferação de pragas, o descontrole de chuvas devido à maior evaporação de água proveniente da retirada das matas que atuam como “cobertor térmico”, destruição da fauna e flora, entre outras (USP, 2001).

Segundo Reis (1991, p. 2), é com o binômio biogás-biofertilizante que “mais de cem milhões de chineses, com seus biodigestores *homemade*”, conseguem energia suficiente para as suas necessidades domésticas e adubo para fertilizar suas plantações.

Na tabela 10, apresenta-se o cálculo de consumo de biogás para uma residência de 5 pessoas. Além disso, essa tabela indica aproximadamente quais devem ser a dimensão do biodigestor e a quantidade de biomassa para produzir a quantidade necessária de gás.

**Tabela 10** - Relação de consumo de biogás em equipamentos

<b>EQUIPAMENTOS</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>CONSUMO</b>
<b>Lampião (cada)</b>	m <sup>3</sup> /h	0,14
<b>Cozimento (5 pessoas x 0,23 m<sup>3</sup>)</b>	m <sup>3</sup> /h	1,15
<b>Fogão</b>	m <sup>3</sup> /dia/pessoa	0,34
<b>Motor</b>	m <sup>3</sup> /hp/h	0,45
<b>Chuveiro</b>	m <sup>3</sup> /banho de 15 minutos	0,80
<b>Campânula para aquecer pintos</b>	m <sup>3</sup> /h para 1500 kcal	0,162
<b>Geladeira</b>	m <sup>3</sup> /dia	2,0
<b>Incubadora</b>	m <sup>3</sup> /h/100l de capacidade	0,05
<b>Geração de Eletricidade</b>	m <sup>3</sup> /kW/h	0,62
<b>Total de consumo/dia</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>5.712</b>

**Fonte:** CETEC, 1982, p. 10

A close-up photograph of soil and a plant root. The soil is dark brown and textured, with some lighter patches. A plant root is visible in the lower foreground, appearing as a smooth, curved, light brown structure. The lighting is warm and directional, creating strong highlights and deep shadows.

6.

Biofertilizantes

---

Os biofertilizantes são melhores que os fertilizantes químicos, pois o excesso de adubação química gera a mineralização do solo, dificultando a passagem de água e ar dentro do solo e criar uma erosão.

A grande capacidade de fertilização do biofertilizante se deve ao baixo teor de carbono, que diminui no processo de digestão da biomassa (no interior do biodigestor). Isso ocorre porque, na biodigestão, os resíduos orgânicos, perdem carbono em formato de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ . Com a perda de carbono, há o aumento de nitrogênio e outros nutrientes, tendo como consequência, a diminuição na relação C/N da matéria.

Com essa característica, o biofertilizante consegue ser facilmente consumido pelas bactérias do solo, aumentando o índice de fixação de nitrogênio no solo. Outra vantagem é o seu pH (em torno de 7,5) que se torna um corretor de acidez do solo.

O solo que usa o biofertilizante tem uma característica mais porosa, tornando-se mais fácil a passagem da água até as raízes, facilitando a respiração das plantas.

**Tabela 11** - Componentes do biofertilizante

<b>COMPOSIÇÃO</b>	<b>QUANTIDADE %</b>
<b>Matéria Orgânica</b>	85
<b>Nitrogênio</b>	1,8
<b>Fósforo</b>	1,6
<b>Potássio</b>	1,0

**Fonte:** Sganzerla, 1983, p. 26



7.

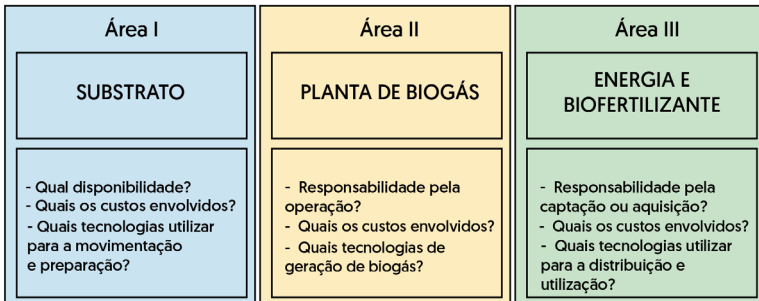
Procedimentos para  
construção de um  
biodigestor

---

Para a implementação de um biodigestor em qualquer região, devem-se realizar várias etapas, começando com a viabilidade do projeto, planejamento da planta de biogás e finalizando com a sua operação. Todas essas etapas devem levar em consideração os recursos humanos e financeiros disponíveis.

É importante, para isso, que sejam consideradas, com o mesmo grau de detalhamento desde o início do projeto, as três áreas apresentadas na figura 18 (GORISCH; HELM, 2006).

**Figura 18** - Diagrama do planejamento de uma planta de biogás



**Fonte:** Görisch; Helm, 2006

## Levantamentos de dados

A Bacia Amazônica abrange uma área de aproximadamente 4,5 milhões de Km<sup>2</sup> no território brasileiro, dos quais 75% são solos de baixa fertilidade (SANCHEZ *et al.*, 1982), o que consiste num problema para qualquer tipo de cultivo, principalmente quando se considera a escassez de infraestrutura da região no que se refere à disponibilidade de insumos agrícolas.

A temperatura média anual é de aproximadamente 26.7°C, tendo uma variação entre 23,3°C e 31,4°C. A região tem duas estações distintas: a chuvosa (inverno), de dezembro a maio; e a seca (verão), de junho a novembro, e temperatura média acima de 35°C.

O uso da terra consiste no desmatamento, remoção da madeira com expressividade econômica, quando não uso como lenha para casas ou realização de queimadas para fazer pastos ou plantações em larga escala. Segundo Diez *et al.* (1991), as mudanças no conteúdo de nutrientes e nas propriedades físicas do solo têm sido relacionadas com diferentes formas de cultivo. Vários estudos relataram aumento no pH do solo, no teor de cátions trocáveis e redução da acidez trocável decorrentes do desmatamento e queima da floresta (MARTINS *et al.*, 1991), além do desmatamento também afetar a concentração de C/N.

Além dessas características, deve-se levar em consideração várias circunstâncias, como a profundidade dos lençóis freáticos, a área para a instalação do biodigestor, a capacidade de biogás produzido, entre outros. Se caso for preciso diminuir a profundidade, deve-se aumentar o diâmetro, e vice-versa. Tendo como base o biodigestor indiano, que é mais prático para se observar a sua dimensão, Sganzerla (1983) criou duas tabelas que têm como relação profundidade x diâmetro e levando em consideração o fator clima.

**Tabela 12** - Biodigestores com pouca profundidade

Capacidade do Tanque Digestor (em m <sup>3</sup> )	Dimensões do Tanque Digestor (diâmetro x m)	Dimensões da Campânula	
		Clima Frio/ Temperado (diâmetro X m)	Clima Tropical (diâmetro X m)
8m <sup>3</sup>	2,00 x 2,60	1,80 x 1,10	1,80 x 2,30
10 m <sup>3</sup>	2,20 x 2,70	2,00 x 1,10	2,00 x 2,50

<b>12 m<sup>3</sup></b>	2,35 x 2,80	2,15 x 1,10	2,15 x 2,50
<b>15 m<sup>3</sup></b>	2,53 x 3,00	2,33 x 1,20	2,33 x 2,50
<b>18 m<sup>3</sup></b>	2,70 x 3,15	2,50 x 1,20	2,50 x 2,60
<b>Relação Biomassa/ Biogás</b>		<b>2,4:1 m<sup>3</sup></b>	<b>1:1 m<sup>3</sup></b>

**Fonte:** Sganzerla, 1983, p. 42

**Tabela 13** - Biodigestores com maior profundidade

Capacidade do Tanque Digestor (em m <sup>3</sup> )	Dimensões do Tanque Digestor (diâmetro x m)	Dimensões da Campânula	
		Clima Frio/ Temperado (diâmetro X m)	Clima Tropical (diâmetro X m)
<b>8m<sup>3</sup></b>	1,70 x 3,60	1,50 x 1,50	1,50 x 3,30
<b>10 m<sup>3</sup></b>	1,85 x 3,80	1,65 x 1,50	1,65 x 3,40
<b>12 m<sup>3</sup></b>	1,97 x 4,00	1,77 x 1,55	1,77 x 3,55
<b>15 m<sup>3</sup></b>	2,10 x 4,40	1,90 x 1,60	1,90 x 3,80
<b>18 m<sup>3</sup></b>	2,20 x 4,80	2,00 x 1,75	2,00 x 4,10
<b>Relação Biomassa/ Biogás</b>		<b>2,4:1 m<sup>3</sup></b>	<b>1:1 m<sup>3</sup></b>

**Fonte:** Sganzerla, 1983, p. 43

As tabelas 12 e 13 mostram a diferença entre as dimensões devido ao clima. Além disso, em regiões de clima frio temperado, a produção do biodigestor segue a relação 2,4m<sup>3</sup> de biomassa para 1m<sup>3</sup> de biogás. Já em clima tropical, a relação muda para 1m<sup>3</sup> de biomassa para 1m<sup>3</sup> de biogás. Isso denota que a variação de temperatura interfere na produção, mas há uma solução para biodigestores de clima frio ou temperado, segundo Sganzerla, que é instalar um sistema de aquecimento da água a ser misturado à biomassa, tal aquecimento pode ser realizado pela energia solar ou por energia gerada pelo próprio biogás. Com esse aquecimento, a relação de biomassa/ biogás chega aproximadamente a 1:1 m<sup>3</sup>.

## Planejamento

Levando em consideração que a implantação do biodigestor será realizada nas zonas rurais, infere-se que o substrato será composto de resíduos animais e de resíduos agrícolas. A produção de biogás amenizará a falta de energia elétrica nas residências, o desmatamento, possibilitando uma grande economia na própria energia.

Já o biofertilizante pode ser utilizado para uso próprio ou então para a comercialização.

## Dimensionamento

O dimensionamento da planta, levando em consideração os dados levantados, foi definido em um modelo contínuo e devido à baixa renda dos produtores rurais os biodigestores chinês e indiano são os mais recomendados para construção.

A tabela 14, a seguir, apresenta as características gerais dos biodigestores dos modelos chinês e indiano, demonstrando as vantagens e desvantagens de cada um.

**Tabela 14** - Comparação de características de construção

<b>Sistema chinês</b>	<b>Sistema indiano</b>
<b>Materiais</b>	
<b>Tijolo, pedra, concreto, areia, cimento, ferro.</b>	
<b>Sistema</b>	
<b>Abastecimento periódico e esvaziamento não periódico.</b>	Abastecimento e esvaziamento periódicos.
<b>Possibilidade de auto-instalação</b>	
<b>Pode ser montado inteiramente pelo usuário, desde que tenha bastante habilidade como pedreiro.</b>	Pode ser montado pelo usuário, mas a câmara de gás deve ser feita em oficina metalúrgica.

<b>Isolamento térmico</b>	
<b>Feito dentro da terra, tem bom isolamento natural e a temperatura é mais ou menos constante. Pode-se melhorar o isolamento fazendo o biodigestor sob currais ou estábulos.</b>	Tem perdas de calor pela câmara de gás metálica, difícil de isolar, menos indicado para climas frios.
<b>Perdas de gás</b>	
<b>A parte superior deve ser protegida com materiais impermeáveis e não-porosos; difícil obter construção estanque.</b>	Sem problemas.
<b>Matérias-primas usadas</b>	
<b>Esterco e outros restos orgânicos (incluindo materiais fibrosos), excrementos humanos.</b>	Esterco, excrementos e materiais fibrosos acrescentados como aditivo.
<b>Produtividade</b>	
<b>Tempo de digestão 40-60 dias; produção de 150 a 350L por m<sup>3</sup> do volume do digestor/dia. Se for perfeitamente estanque, pode produzir até 600L/m<sup>3</sup>/dia.</b>	Tempo de digestão 40-60 dias, produção 400 a 600 L/m <sup>3</sup> do digestor/dia.
<b>Manutenção</b>	
<b>Deve ser limpo uma ou duas vezes por ano.</b>	A câmara de gás deve ser pintada uma vez por ano.
<b>Custo</b>	
<b>Custo baseado principalmente no preço da alvenaria.</b>	Custo baseado principalmente no preço do metal de construção.
<b>Melhorias possíveis</b>	
<b>Abóbada impermeável, adoção de agitadores, montagem de aquecimento.</b>	Campânula inoxidável, melhoria no isolamento térmico da mesma.

Fonte: BARRERA, 1993

Tendo em vista os dados apresentados, optou-se pelo dimensionamento de um biodigestor do tipo chinês, devido principalmente ao custo de implantação e disponibilidade de materiais, além da mão de obra especializada requerida para construção de um biodigestor indiano.

### **Cálculo dos parâmetros**

Ao se dimensionar biodigestores do modelo chinês é necessário levar em conta uma série de fatores, tais como altura, raio, centro do gasômetro (campânula), volume de biogás requerido por dia e tempo de retenção (FLORENTINO, 2003).

Para dimensionar o biodigestor, isto é, determinar sua vazão de substrato, utilizam-se as seguintes equações:

$$Q = \frac{V}{TRH}$$

Onde Q é a vazão média de substrato, TRH é o tempo de retenção hidráulica do substrato e V é o volume útil do biodigestor.

Para resíduos orgânicos domésticos, o TRH é de aproximadamente 25 dias (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

As dimensões adequadas ao biodigestor, adaptadas de Costa, Silva e Gomes (1983, p. 44), são as seguintes:

- a) Raio da Cúpula (r1) - 1,66m;
- b) Altura sobre a laje para fixação do gabarito - 1,22m
- c) Raio da escavação do Cilindro (R) - 1,58m;
- d) Profundidade da escavação do Cilindro (P) - 2,9m;
- e) Raio interno do Cilindro (r2) - 1,45m;
- f) Altura do Cilindro (h2) - 2,03m;
- g) Profundidade de escavação do degrau superior da Caixa de Descarga (PS) - 1,31m;

- h) Profundidade de escavação do degrau inferior da Caixa de Descarga (PI) - 2,41m;
- i) Desnível do degrau inferior da Caixa de Descarga (DDI) - 0,49m;
- j) Raio de escavação da Caixa de Carga (RCC) - 0,61m;
- k) Profundidade de escavação da Caixa de Carga (PCC) - 0,20m;
- l) Altura da Carga de Carga (HCC) - 0,70m.

Dessa forma, com essas condições estabelecidas, pode-se calcular o volume útil do biodigestor, que será:

$$\begin{aligned}V &= \pi r_2^2 \cdot h_2 \\V &= \pi(1,45m)^2 \cdot (2,03m) \\V &= 13,41m^3\end{aligned}$$

Com o volume útil calculado, pode-se então obter a vazão de substrato necessária, levando em conta um TRH de aproximadamente 25 dias.

$$Q = \frac{(13,41m^3)}{(25 d)}$$

$$Q = 0,54m^3/d$$

Logo após a obtenção do volume útil do biodigestor (V), basta multiplicar o fator de rendimento (K) para conhecer o volume de biogás teórico (B) que será produzido ao final da fermentação, segundo Ortolani *et al.* (1991).

$$\mathbf{V=K.B}$$

Barrera *et al.* (1993) apontam que o valor de K varia entre 0,7 a 4, dependendo dos seguintes fatores: temperatura, tipo de substrato, diluição e reabastecimento.

Seguindo as restrições do modelo indiano no formato cilíndrico:

$$\mathbf{VB = \pi \cdot Di \cdot H / 4 > 1,1 \cdot V}$$
$$\mathbf{0,6 \leq Di / H \leq 1}$$

Onde:

Di: É o diâmetro do cilindro;

VB: É o volume do biodigestor até o nível do substrato;

H: Altura do substrato.



8.

Materiais e custo  
do investimento

---

Os materiais do biodigestor chinês se resumem a cimento, tijolos, areia, pedra brita, barras de ferro, tubos de PVC e canos galvanizados. Para se ter uma noção de custos com os materiais, foi realizada uma pesquisa de preço em duas empresas de materiais de construção em Manaus: SHOP LU Materiais de Construção e S.S. Materiais de Construção. Na tabela a seguir, apresenta-se o custo unitário de cada material a partir dos orçamentos realizados.

**Tabela 15** - Custo dos materiais para a construção

Materiais de construção (unidade)	SHOP LU	S.S.	Média
Cimento (saco de 50kg)	R\$29,50	R\$28,50	R\$29,00
Tijolos de Dois Furos (milheiro)	R\$1,00	R\$1,00	R\$1,00
Areia Lavada Média (m3)	R\$40,00	R\$69,00	R\$54,50
Pedra Brita nº1 (m3)	R\$150,00	R\$150,00	R\$150,00
Vedacit (Frasco com 3,6L)	R\$7,00	R\$19,50	R\$13,25
Barra de Ferro 1/4 (Barra de 12 m)	R\$15,00	R\$14,50	R\$14,75
Tubo PVC 150mm (tudo de 6m)	R\$13,50	R\$13,35	R\$13,45
Cano de Ferro Galvanizado 1n (m)	R\$105,00	R\$105,00	R\$105,00

**Fonte:** Pesquisa de Campo – out. 2014, Manaus

Como as lojas de materiais de construção não vendem ferro galvanizado, foi necessário fazer o orçamento em outra empresa especializada nesse tipo de material: a Tubo Aço. O valor da barra é o que está representado na tabela acima.

A quantidade de materiais exigidos para fazer o biodigestor foi baseada nas dimensões oferecidas por Costa, Silva e Gomes (1983, p. 44) e o custo prévio foi baseado na tabela 16.

**Tabela 16** - Materiais e custo da construção do biodigestor

Materiais de construção	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Cimento (saco de 50kg)	36	R\$29,00	R\$1.044,00
Tijolos de Dois Furos (milheiro)	5	R\$1,00	R\$5.000,00
Areia Lavada Média (m3)	6	R\$54,50	R\$327,00
Pedra Brita nº1 (m3)	2	R\$150,00	R\$300,00
Vedacit (Frasco com 3,6L)	7	R\$13,25	R\$92,75
Barra de Ferro 1/4 (Barra de 12 m)	4	R\$14,75	R\$59,00
Tubo PVC 150mm (tudo de 6m)	1	R\$13,45	R\$13,45
Cano de Ferro Galvanizado 1n (m)	1	R\$105,00	R\$105,00
Total dos Custos			R\$6.941,20

**Fonte:** Pesquisa de Campo – out. 2014, Manaus

O total de R\$6.941,20 não inclui o frete, a mão de obra qualificada ou a preparação do local. Outro fato a ser considerado é que a pesquisa de preço foi feita na capital amazonense, podendo haver divergências de preço. O preço final da construção do biodigestor pode chegar, no máximo, ao seu dobro, R\$13.882,40.

Com as dimensões indicadas do biodigestor, ele produzirá 4,20m<sup>3</sup>/dia de biogás, atendendo as necessidades básicas de quatro pessoas.

Segundo Costa, Silva e Gomes (1985, p. 37),

no caso de uma família de cinco pessoas, usando o gás para atender às necessidades de cozimento, ferro de passar roupa, geladeira e iluminação, a reserva útil deve ser igual a 941 litros, quando se dispõe de um biodigestor com produção diária de 5m<sup>3</sup> (5000 litros).



9.

Projeto piloto

**Figura 19** - Tambor da esquerda: reservatório de gás e o da direita câmara de fermentação



**Fonte:** Arquivo próprio, 2021

Para analisarmos a quantidade de biogás produzido pelas biomassas regionais da Amazônia, foi construído um biodigestor caseiro adaptando os estudos realizados por Silva.

Os materiais para a construção, segundo Silva, são: 2 tambores de 200 lt; 1 tambor de 50 lt; 6 m de mangueira de 3/4; 1 barra de ferro 3/8 de 6m; solda; 3 registros 3/4; 2 registros de 1/2, dois registros de 1"; 1,5 m de cano PVC de 2"; cola plástica; durepox.

**Figura 20** - Tambor de 50L e filtros do biogás



**Fonte:** Arquivo próprio, 2021

Procedimentos para construção: no tambor da câmara de fermentação e no reservatório de gás foram feitos dois furos na lateral de cada tambor, para serem instalados tubos com roscas para fixar os registros. No tambor de fermentação, o registro superior de 1/2 servirá para saída de biofertilizante menos viscoso e no inferior de 1" para saída do biofertilizante mais viscoso. Na superfície superior, foi feito um furo para um registro de 3/4 e um furo para ser feito um funil, por onde será despejada a biomassa. Já no reservatório de gás, o registro foi utilizado para controlar o nível e a vazão de água. As especificações dos registros seguem as mesmas citadas acima e foi realizado o mesmo procedimento de instalação do tubo na lateral. Depois de feita a instalação dos registros, foi aberto o tambor do reservatório de biogás para ser colocado o tambor de 50lt no seu interior. A barra de 6 m foi dividida em 4 partes com 1,5 m, que foram soldadas no fundo do tambor de 200 lt para servir de limitadoras, evitando que o tambor menor

se movimente para os lados, sendo capaz de movimentar-se somente para cima e para baixo. O tambor menor é o recipiente de gás e estará emborcado e rodeado por água. A água é um ótimo impermeabilizante e isolante, dificultando a vazão de gás. Com o decorrer dos dias, o tambor sobe, para indicar que já está produzindo gás, e desce quando está sendo usado ou possui algum vazamento. No fundo do menor, serão feitos dois furos para a instalação de dois registros de  $\frac{3}{4}$ , um para o recebimento de gás do tambor de fermentação e um para a saída de gás para o fogão ou para outra utilidade que necessite de pouco gás. O cano de PVC foi dividido em duas partes e funcionará como um filtro no biodigestor.

O custo médio para a construção de um biodigestor caseiro é de aproximadamente R\$600,00 e ele pode ser utilizado por produtores rurais que não possuem uma condição financeira favorável. O custo pode ser barateado dependendo do material utilizado para produzi-lo. Seguindo essas especificações, esse projeto piloto pode sustentar uma família de 4 pessoas produzindo biogás para preparar alimentos e o biofertilizante para a sua plantação.



## Considerações finais

Com a implantação de um biodigestor nos territórios rurais, 80% dos problemas relacionados à preservação da floresta amazônica e do solo serão resolvidos. Sabe-se que o biodigestor produz três subprodutos:

- Gás metano, que pode ser usado para abastecer uma casa com energia elétrica, além de ser usado para outros aparelhos funcionarem. Seu uso evita o desmatamento para produção de lenhas e não gera emissão de carbono ou descontrole das chuvas.
- Biofertilizante, que é o mais importante para um solo fraco em fertilidade e nutrientes, devido à grande concentração de nutrientes. Além disso, por ter sido processado a um pH quase que neutro, serve como um corretor de acidez, tornando o solo mais fértil e facilitando a agricultura, que é a base econômica desses terrenos.
- Líquido produzido no biodigestor, que pode ser usado para a piscicultura.

Conclui-se que o uso de biodigestores é bastante viável para produções rurais em todo o Brasil, principalmente em locais que apresentam problema com abastecimento de energia elétrica e de combustíveis fósseis.

Mesmo com uma margem um pouco alta, o investimento feito no biodigestor traz grandes resultados, tanto econômicos como ambientais, o que é bem visto na sociedade, que a cada ano vem se preocupando mais com o meio ambiente.

A evolução tecnológica e o crescimento populacional proporcionam um aumento significativo no consumo de energia. A região Norte do país concentra grande parte das comunidades sem acesso à eletricidade, o que evidencia a necessidade de rotas para produção de energia de forma condizente com a realidade regional.

Estudos sobre biodigestão anaeróbia estão adquirindo mais espaço no mercado industrial como fonte de energia. Dessa forma, a pesquisa levantou dados para aproveitar os dejetos orgânicos da região como uma alternativa mais eficiente e menos complexa para geração de energia elétrica. Foi utilizada como biomassa a casca do cupuaçu, uma das frutas mais populares da região do Amazonas com período de aproximadamente seis meses de frutificação.

De acordo com os dados obtidos, nota-se a viabilidade econômica e ecológica deste estudo, considerando o orçamento de baixo custo, o uso de uma biomassa sem valor comercial, minimização do uso de combustíveis fósseis e a disponibilidade de energia elétrica em comunidades de difícil acesso.

# Referências

- AGRIMOTOR, v. 8, p. 26, 2012. Disponível em: [http://www.agrimotor.com.br/Flip/AR/AR\\_75/index.html#/26/](http://www.agrimotor.com.br/Flip/AR/AR_75/index.html#/26/).
- ALMEIDA, M. B. B. *Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gás-óleo em craqueamento catalítico*. Dissertação (Mestrado em Ciências em tecnologias de processos químicos e bioquímicos), Rio de Janeiro - RJ, 2008. 167 p.
- ANDERSON, E. M.; ERICSSON, I.; *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, v. 1, n. 27, 1979.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Biomassa. In: *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*, 2. ed., Brasília, 2005.
- ANGELIDAKI I. I.; ELLEGAARD L.; AHRING B. K. A comprehensive model of anaerobic bioconversion of complex substrates to biogas. *Biotechnol Bioeng*, v. 63, p. 363-372, 1999.
- BARRERA, Paulo. *Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a Zona rural*. São Paulo: ÍCONE, 1993, p. 11.
- BENINCASA, M.; ORTOLANI, A. F.; LUCAS JÚNIOR, J. *Biodigestores convencionais*. Jaboticabal, FUNEP, 1991. 25 p.
- CASTANHO, D. S.; ARRUDA, H. J. Biodigestores. In: *VI Semana de Tecnologia em Alimentos*. Anais. Ponta Grossa, 2008.
- COLATTO, L.; LANGER, M. Biodigestor - resíduo sólido pecuário para produção de energia. *Unoesc & Ciência - ACET*, v. 2, n. 2, p. 119-128, 2012.
- COSTA, A. R.; SILVA, N. F.; GOMES, F. P. B. *Biodigestor*. Goiânia: Editora da Universidade Católica de Goiás, 1985. Série Cadernos de Pesquisas.
- COSTA, H. R. S. et al. Atividade de extensão para desenvolvimento de biodigestores caseiros em comunidades amazônicas. *XL Congresso Brasileiro de educação em Engenharia*. Belém – PA, 2012.
- DDEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. *Biogas from waste and renewable resources*. WILEY-VVCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim.

- DDIEZ, J. A.; POLO, A.; CERRI, C. C.; ANDREUX, F. Efectos comparativos de cultivos intensivos sobre nutrientes en oxisoles desforestados. *Turrialba*, v. 41, p. 150-159, 1991.
- ECOCENTRO. IPEC - Ano 2, n. 3. Pirenópolis, 2008.
- FERREIRA, A. B. H. *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. São Paulo: Positivo, 2004.
- FLORENTINO, H. O. *Mathematical tool to size rural digesters*. Departamento de Bioestatística – UNESP/IBB, São Paulo, 2003.
- G1 (GLOBO). *Biodigestor transforma frutas em gás de cozinha, no AM*. Disponível em: <http://g1.globo.com/am/amazonas/amazonas-tv/videos/t/edicoes/v/biodigestor-transforma-frutas-em-gas-de-cozinha-no-am/3939928/>.
- GASPAR, R. M. B. L. *Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo*. Especialização (Pós-Graduação em engenharia de produção e sistemas), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. 119 p.
- GÖRISCH, U.; HELM, M. *Biogasanlagen*, Ulmer Verlag, 2006.
- GUTTERIDGE, C. S.; NORRIS, J. R.; *J. Appl. Bacteriol*, v. 47, n. 5, 1979.
- HOSAKA, A.; WATANABE, C.; TSUGE, S.; *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, v. 78, n. 452, 2007.
- IRWIN, W. J.; *Analytical Pyrolysis – A comprehensive guide*. v. 22. New York: Marcel Dekker, 1982.
- MARTINS, P. F. S.; CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; ANDREUX, F.; CHAUVEL, A. Consequences of clearing and tillage on the soil of a natural Amazonian ecosystem. *Forest Ecology and Management*, v. 38, p. 273-282, 1991.
- MC. CARTY, P. L.; JERIS, J. S.; MURDOCH, W. *Individual volatile acids in anaerobic treatment*. p. 1501-1515, dez. 1963.
- MEIER, D.; FAIX, O.; *Methods in Lignin chemistry*. Springer Series in Wood Science. Springer-Verlag: Heidelberg, 1992.
- MME, Ministério de Minas e Energia. *Balço energético nacional*. 2007. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3597241/01+-+BEN+2007+-+Ano+Base+2006+%28PDF%29/d3b8d0d9-4487-498c-9846-61a5bbdb8fc3>.
- MOURA, J. P. Produção de biogás- parte 1. *Revista agrimotor*, v. 8, p. 24, 2012. Disponível em: [http://www.agrimotor.com.br/Flip/AR/AR\\_72/index.html#/24/](http://www.agrimotor.com.br/Flip/AR/AR_72/index.html#/24/). Série: 72. ISSN/ISBN: 21780625.

- MOURA, J. P. Produção de biogás-parte 2. *Revista agrimotor*, v. 8, p. 24, 2012. Disponível em: [http://www.agrimotor.com.br/Flip/AR/AR\\_73/index.html#/24/](http://www.agrimotor.com.br/Flip/AR/AR_73/index.html#/24/). Série: 73. ISSN/ISBN: 21780625.
- MOURA, J. P. Produção de biogás-parte 3. *Revista agrimotor*, v. 8, p. 48, 2012. Disponível em: [http://www.agrimotor.com.br/Flip/AR/AR\\_74/index.html#/48/](http://www.agrimotor.com.br/Flip/AR/AR_74/index.html#/48/). Série: 74. ISSN/ISBN: 21780625.
- OLIVA, L. C. H. C. *Tratamento de esgotos sanitários com reator anaeróbico 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. 218 p.
- OLIVEIRA, M. M. *Estudo da inclusão de compartimentos em biodigestores modelo canadense*. Dissertação de mestrado. Universidade federal de Santa Maria Centro de Tecnologia (Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos). 2012. 119 p.
- PEREIRA, E. R.; DEMARCHI, J. J. A. A; BUDIÑO, F. E. L. *Biodigestores – Tecnologia para o manejo de efluentes da pecuária*. 2009. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_4/biodigestores/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_4/biodigestores/index.htm).
- Professor amazonense ganha prêmio internacional com projeto que reutiliza cascas de frutas. Disponível em: <http://globo.com/rede-amazonica-am/amazonas-tv/v/professor-amazonense-ganha-premio-internacional-com-projeto-que-reutiliza-cascas-de-frutas/3734622/>. Acesso em: 20 jun. 2019.
- ROBERT, A. W. J.; ROSE, M. E. *Mass spectrometry for chemists and biochemists*, 2. ed., Cambridge: Cambridge (UK), 1990.
- SÁNCHEZ, C. G. *Gaseificação de Biomassa*, DETF – FEM, 2010.
- SANTOS, E. C. S. et al. *Aproveitamento da casca do cupuaçuzeiro para produção de energia*. Centro de Desenvolvimento Energético – CDEAM, Universidade Federal do Amazonas, Manaus- AM, 2004.
- SANTOS, E. C. S. et al. *Avaliação de biomassa para uso energético na indústria oleira no município de Iranduba, Estado do Amazonas*. Brasil: um estudo de caso. Núcleo de Eficiência Energética, Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus – AM, 2002.
- SGANZERLA, E. *Biodigestor, uma solução*. Porto Alegre: Agropecuária, 1983.
- SILVA, L. L. et al. *Princípios de termoeletrônicas em pequenas propriedades rurais*. In: *2º International workshop advances in cleaner production*. São Paulo, maio 2009.
- SIMÕES, M. A. *Operações Unitárias Cavitação e NPSH*. Seleção de Bomba para Instalação. Disponível em: [http://masimoes.pro.br/op\\_uni/4\\_npsh/cav\\_npsh\\_slides.pdf](http://masimoes.pro.br/op_uni/4_npsh/cav_npsh_slides.pdf).

- SILVÉRIO, F. O.; BARBOSA, L. C. A.; VELOSO, D. P. *A pirólise como técnica analítica*. 2008.
- SMITH, C. *Handbook of instrumental techniques for analytical chemistry*, Frank, S., ed.; Prentice Hall PTR: Upper Saddle River, 1997, cap. 49.
- SOUZA, J.; PFINGSTAG, M. E.; SCHAEFFER, L.; ROSSINI, E. G. Um método para projeto de plantas de biogás. *Espacios*, v. 35, n. 3, 2014.
- TORRES, A.; PEDROSA, J. F.; MOURA, J. P. Implantação de biodigestores em propriedades rurais - parte 1. *Anais do VII SINGEP*, São Paulo, 2018.
- USHIMA, A. H. *Aspectos Tecnológicos de Gaseificadores e Sistemas de Limpeza de Gases*. Agrupamento de Engenharia Térmica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. 2004.
- VELOSO, A. V.; SOUZA, W. L.; ARAÚJO, P. M. M.; SANT'ANNA, M. C. S.; ALMEIDA, J. K. T. C.; SILVA, I. P. Análise dimensional de um biodigestor piloto baseado no modelo indiano utilizando resíduos alimentares. *VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*, Universidade Federal de Sergipe (UFS), 2010. Disponível em: [www.abcm.org.br/pt/wp-content/anais/conem/2010/PDF/CON10-2146.pdf](http://www.abcm.org.br/pt/wp-content/anais/conem/2010/PDF/CON10-2146.pdf).
- WAMPLER, T. P.; LEVY, E. J.; *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, v. 12, n. 75, 1987.
- WANG, F. C.; *J. Chromatogr.*, v. 843, n. 413, 1999.
- XAVIER, C. A. N.; LUCAS JÚNIOR, J. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. *Engenharia Agrícola* [S.L.], v. 30, n. 2, p. 212-223, abr. 2010. Disponível em: [http:// dx.doi.org/10.1590/s0100-69162010000200003](http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162010000200003)

# Lista de figuras

Figura 1 - Fases de biodigestão anaeróbica	10
Figura 2 - Oferta interna de energia elétrica por fonte	17
Figura 3 - Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa	18
Figura 4 - Biodigestor tipo indiano	27
Figura 5 - Biodigestor tipo chinês	29
Figura 6 - Modelo Marinha (PqM) de cúpula de lona impermeabilizada	30
Figura 7 - Biodigestor tipo Batelada	31
Figura 8 - Representação do biodigestor dimensionado	41
Figura 9 - Perda de Carga em Tubulações	44
Figura 10 - Pressão atmosférica e Vapor D'água	46
Figura 11 - Balanço de massa no sistema do reator projetado	51
Figura 12 - Biodigestor modelo chinês	57
Figura 13 - Biodigestor modelo indiano	58
Figura 14 - Biodigestor modelo canadense	59
Figura 15 - Gaseificador contracorrente do IPT	61
Figura 16 - Gaseificador co-corrente do IPT	62
Figura 17 - (a) Pirolisador de microforno e (b) Pirolisador de Ponto Curie	65
Figura 18 - Diagrama do planejamento de uma planta de biogás	72
Figura 19 - Tambor da esquerda: reservatório de gás e o da direita câmara de fermentação	84
Figura 20 - Tambor de 50L e filtros do biogás	85

# Lista de tabelas

Tabela 1 - Composição do Biogás	10
Tabela 2 - Composição setorial do consumo final de biomassa	16
Tabela 3- Fontes de biomassa com suas vantagens e desvantagens	19
Tabela 4 - Características físicas dos frutos de cupuaçu em relação ao seu formato	22
Tabela 5 - Percentual dos gases presentes na composição do biogás	23
Tabela 6 - Comparação entre os três modelos de biodigestores	35
Tabela 7 - Parâmetros calculados para a implantação do biodigestor indiano	41
Tabela 8 - Bomba	45
Tabela 9 - Compilação dos dados do cálculo do balanço de massa	52
Tabela 10 - Relação de consumo de biogás em equipamentos	68
Tabela 11 - Componentes do biofertilizante	70
Tabela 12 - Biodigestores com pouca profundidade	73
Tabela 13 - Biodigestores com maior profundidade	74
Tabela 14 - Comparação de características de construção	75
Tabela 15 - Custo dos materiais para a construção	81
Tabela 16 - Materiais e custo da construção do biodigestor	82



# Lista de fluxogramas

Fluxograma 1 - Tipos de biodigestores	26
Fluxograma 2 - Etapas do processo de transformação da biomassa da casca de cupuaçu em biogás para geração de energia elétrica	36

# Sobre os autores

---

## **Carlos Victor Bessa Corrêa**

Professor da Universidade do Estado do Amazonas - UEA e Coordenador Geral do Curso Superior em Tecnologia de Alimentos (TECALI). Atua como docente da Escola Superior de Tecnologia (Curso de Tecnologia em Alimentos). Possui Graduação em Nutrição e Formação Pedagógica em Ciências Biológicas, Mestre em Ciências de Alimentos pela Universidade Federal do Amazonas - UFAM (2010); atualmente cursando Química no Instituto Federal do Amazonas (IFAM). Tem experiência em Química de alimentos, Tecnologia de Alimentos, atuando principalmente nos seguintes temas: Bioquímica, Desenvolvimentos de novos produtos, Composição Química dos alimentos, Bioquímica de frutos, Análise Bromatológica, Tecnologia do pescado, Tecnologia de óleos e gorduras.

## **Johnson Pontes de Moura**

Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN (2000); Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN (2007). Foi professor nos Departamentos de Engenharias Química, Petróleo e Gás e Mecânica. Exerceu a função de Professor Adjunto dos Departamentos de Engenharias Química e Mecânica da Faculdade de Aracruz. Também lecionou em Cursos de Pós-Graduação (UNISAM-ES). Atuou como professor Substituto da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Agosto de dois mil e vinte e dois, dez anos da Resolução Normativa nº 482/2012, que permitiu a criação de sistemas de Geração Distribuída local.



para conhecer mais da **editora UEA** e de nossas publicações,  
acesse nosso site e nos siga nas redes sociais

[editora.uea.edu.br](http://editora.uea.edu.br)

ueaeditora



Esta obra tem como objetivo analisar as formas de obtenção de biogás a partir de resíduos agrícolas e identificar a forma mais apropriada para a agricultura amazonense, levando em consideração a biomassa amazônica e o seu custo benefício para os agricultores. Além disso, pretende analisar as formas de obtenção de biogás, tendo como critério a viabilidade, os recursos humanos e os recursos financeiros disponíveis, dimensionar o equipamento e realizar pesquisas a partir do projeto piloto proposto.