

# **“BIODIGESTORES RURAIS NO CONTEXTO DA ATUAL CRISE DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRA E NA PERSPECTIVA DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL”**

**Marcio Antonio Nogueira Andrade, Tiago Juruá Damo Ranzi, Rafael Ninno Muniz, Luiz Gustavo de Souza e Silva & Marcos José Elias**

Coordenadoria de Gestão Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina  
CEP: 88040 –970 Florianópolis - SC - Campus Universitário da UFSC – Caixa Postal 476  
E-mail: mandrade@reitoria.ufsc.br, Tel: +48 3319044 Fax: +48 3319941

## **RESUMO**

Partindo do contexto da atual crise brasileira de energia elétrica, propõe-se a utilização da tecnologia dos biodigestores rurais como uma alternativa simplificada e apropriada que pode contribuir para o desenvolvimento sustentável do meio rural, promovendo o saneamento rural, prevenindo a poluição e conservando os recursos hídricos, os quais são finitos e vulneráveis. Os biodigestores promovem, ainda, o suprimento autônomo de energia e biofertilizante, principalmente para os pequenos produtores rurais. Assim, os biodigestores podem converter os dejetos animais de um problema em um benefício. Esta tecnologia possibilita um adequado tratamento de diversos resíduos orgânicos agrícolas, bem como a utilização energética do gás metano, cujo potencial de aquecimento global (efeito estufa) é 21 vezes maior que o do gás carbônico. Justifica-se seu potencial de utilização baseando-se principalmente nos aspectos: socio-econômicos, energéticos e ambientais. A grande extensão territorial do Brasil dificulta a implantação de redes de transmissão elétrica e de transporte, o que favorece a adoção de soluções locais para o suprimento de energia e fertilizantes. Discute-se neste trabalho motivos que levaram a pouca propagação desta tecnologia no país e sugere-se algumas alternativas para a implantação dos biodigestores. Conclui-se que a tecnologia dos biodigestores rurais é apropriada aos pequenos produtores, apresenta viabilidade técnica, econômica e ambiental e proporciona maior autonomia de energia e biofertilizante. Além de adaptar-se bem às condições climáticas do país, contribui para a minimização dos impactos ambientais de atividades agropecuárias.

## **ABSTRACT**

Starting from the context of the actual Brazilian energy crisis, it is proposed the use of rural biodigestors technology as an appropriate and simplified alternative that can contribute to the sustainable development of the rural environment, promoting its sanitation, preventing the pollution and conserving the hydric resources, which are finite and vulnerable. The biodigestors also promote an autonomous supply of energy and biofertilizer, especially for the small rural producers. Therefore, the biodigestors can convert animal dejection, from a problem to a benefit. This technology enables an adequate treatment of various agricultural organic wastes, as well as the energetic use of the methane gas, which global warming potential is 21 times higher than the carbonic gas. The potential use of the biodigestors is justified mainly based on: energetic, economic, environmental, social and political aspects. The great territorial extension of Brazil makes it difficult to implant transport and energy transmission systems, which favors the adoption of local solutions for the suppliment of energy and fertilizers. This work discusses the reasons that led to a low dissemination of this technology in Brazil and suggests some alternatives for the implantation of biodigestors. The main conclusion is that the technology of rural biodigestors is appropriate for the small producers, presents technical, economic and environmental viability, and provides greater autonomy of energy and biofertilizer. Besides being well adapted to the Brazil's climatic conditions, it contributes to the minimization of the environmental impacts from agricultural activities.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho foi idealizado a partir do interesse em contribuir com a sustentabilidade ambiental do meio rural, propondo a tecnologia dos biodigestores rurais como uma solução simplificada e apropriada ao saneamento rural e ao suprimento autônomo de energia e biofertilizante, principalmente para os pequenos produtores rurais.

O Brasil possui dimensões continentais, com a maior parte de seu território localizado entre o equador e o trópico de capricórnio, oferecendo condições climáticas propícias para a utilização da tecnologia da digestão anaeróbia. Esta grande extensão territorial dificulta a implantação de redes de transmissão elétrica, gasodutos e de transporte de combustíveis fósseis, o que favorece a adoção de soluções locais para o suprimento de energia e de outros insumos agrícolas.

Apesar destas condições favoráveis, nota-se que a propagação da tecnologia dos biodigestores rurais no país não teve o êxito esperado. Pode-se afirmar que os biodigestores rurais apresentam uma má fama na maioria das vezes devido a problemas causados por erros de projeto, operação e/ou manutenção destas instalações. Alguns destes erros são discutidos no presente trabalho.

Promove-se aqui esta alternativa a partir da premissa de que ela é viável para diversas situações e no contexto da atual crise brasileira de abastecimento de energia elétrica, ressaltando que a matriz energética do país precisa ser redesenhada na perspectiva da sustentabilidade.

Neste ano em que se realiza a “Rio + 10” (Reunião Mundial para o Desenvolvimento Sustentável) procura-se dirigir a atenção do problema, da crise de abastecimento elétrico brasileira, para o potencial da utilização dos biodigestores e justifica-se, baseando-se principalmente nos aspectos: socioeconômicos, energéticos e ambientais.

O biogás produzido a partir de resíduos agropecuários pode promover a autonomia energética de diversos produtores rurais. Seu uso pode contribuir para agregação de valor de produtos agroindustriais, suprimento autônomo de combustível para muitas utilidades, como para alimentação de sistemas de bombeamento para irrigação, podendo viabilizar tais empreendimentos.

A utilização do gás metano como gás combustível contribui para a diminuição do efeito estufa. O biodigestor promove o saneamento rural, prevenindo a poluição e conservando os recursos hídricos, os quais são finitos e vulneráveis, e portanto devem ser utilizados racionalmente para consumo humano e outros usos prioritários e não como veículo para dejetos. Esta tecnologia possibilita a utilização do biofertilizante como adubo orgânico, em substituição aos adubos químicos que em seus processos de produção causam impactos ambientais e consomem energia. Assim, os biodigestores podem converter os dejetos animais de um problema em uma solução.

Esta tecnologia pode contribuir para criar possibilidades de permanência de trabalhadores no meio rural propiciando o bem estar, a saúde e a satisfação de pequenas comunidades rurais, que podem ser incluídas no processo de apropriação tecnológica, favorecendo assim, os que muitas vezes estão à margem dos benefícios do desenvolvimento científico e tecnológico. Contribuindo ainda para tornar os produtores rurais mais autônomos.

Este trabalho visa contribuir com o desenvolvimento desta tecnologia como uma solução apropriada e discutir algumas alternativas para implantação dos biodigestores, abordando desde o desenvolvimento do projeto, materiais e técnicas construtivas até orientações de operação e manutenção.

## A ATUAL CRISE DE ABASTECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E A ALTERNATIVA DOS BIODIGESTORES RURAIS

O Sistema Elétrico Brasileiro caracteriza-se pelo aproveitamento do potencial hidrológico que em combinação com as características de relevo possibilitam a utilização de usinas hidrelétricas, as quais são hoje responsáveis por cerca de 80 % da potência elétrica disponibilizada ao país (ELETROBRAS, 2001), como pode ser observado na Tabela 1. É um sistema de geração que apresenta grande viabilidade econômica mas depende da ocorrência das chuvas, estando sujeito portanto a eventuais períodos prolongados de estiagem.

Como algumas bacias hidrográficas estão sob regimes pluviométricos diferentes, é possível através de uma adequada operação de um sistema integrado obter uma maior disponibilidade de energia, a partir de uma eficiente operação do sistema. O operador deve portanto realizar simulações energéticas; avaliações de riscos de déficit e de condições de armazenamento de água dos reservatórios do sistema.

Tabela 1 - Formação da oferta de energia elétrica – disponibilidade de potência, em 2000

Fonte de Energia Elétrica	Potência Instalada (em MW)	Participação (em %)
Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)	1.485	2,02
Hidrelétricas (UHE)	59.165	80,55
Termelétricas (UTE)	9.664	13,16
Importações	1.150	1,57
Nuclear	1.966	2,68
<b>TOTAL</b>	<b>73.449</b>	<b>100%</b>

Informações obtidas na *home page*: <http://www.eletrobras.gov.br>.

Nas Tabelas 2 e 3 apresentam-se os sistemas elétricos, de transmissão e o potencial hidrelétrico brasileiro, segundo informações da ELETROBRAS (2001).

Tabela 2 - Sistemas elétricos do Brasil, em 2001

Sistema	Consumo total de energia elétrica
Sistemas isolados região norte	2%
Sistema interligado norte – nordeste	19%
Sistema interligado sul - sudeste – centro-oeste	79%

Informações obtidas na *home page*: <http://www.eletrobras.gov.br>.

Tabela 3 – Potencial hidrelétrico brasileiro, em 2001

Região	Potencial Total (GW)	Potencial em Operação (GW)	Participação (%)
Norte	113	4,8	43
Nordeste	27	10,1	10
Centro-Oeste	36	8,3	14
Sudeste	43	21,2	16
Sul	42	17,2	16
<b>TOTAL</b>	<b>261</b>	<b>61,2</b>	<b>100</b>

Informações obtidas na *home page*: <http://www.eletrobras.gov.br>.

A atual crise de energia elétrica brasileira, tem como uma de suas causas a falta de investimentos em infraestrutura nos setores de geração e transmissão, o que impossibilitou, a interligação do sistema e levou ao risco de desabastecimento em 2001. Os fatores climáticos causadores de estiagens prolongadas, principalmente na região sudeste, e o crescimento da demanda de energia deveriam ter sido

previsto e portanto deveriam ter sido solucionados, ou seja esta é uma crise anunciada.

As hidrelétricas apresentam vantagens no custo de geração, que é muito baixo, quando comparado com as termelétricas. No entanto, as usinas hidrelétricas também causam impactos ambientais principalmente com a construção dos reservatórios e implantação de linhas de transmissão. Cada 1 Wh gerado em hidrelétrica corresponde a aproximadamente 70 m<sup>2</sup> de área inundada.

Esta crise e a exclusão de milhares de brasileiros ao abastecimento elétrico poderiam ser amenizadas e em alguns casos solucionadas com a adoção de energias renováveis que pudessem aliar a geração próxima do ponto de consumo com a não agressão ao meio ambiente.

É preocupante ver que nestes tempos de construção da Agenda 21 Brasileira, em meio ao risco de desabastecimento de energia elétrica, o Governo Federal, através da Câmara de Gestão da Crise Energética, tenha como uma das principais soluções a importação de gás natural de empresas estrangeiras que cotam seus produtos em dólar americano e causam ainda mais a dependência externa.

É importante observar que os investimentos para a implantação de grandes gasodutos como o Brasil-Bolívia são altos (com retorno do investimento previsto para 20 anos) e que neste caso as reservas do gás natural boliviano não são grandes o suficiente para promover o retorno desejado. Tal situação tem exigido das empresas um criterioso estudo de viabilidade econômica antes da adoção desta fonte de energia não renovável. Em alguns casos somente é economicamente viável o uso deste gás para geração de energia elétrica nas horas de pico, quando a tarifa é mais onerosa.

Em termos de uso final, a energia elétrica é o principal componente da matriz energética brasileira, sendo responsável por cerca de 39 %, enquanto os derivados de petróleo contribuem com 31 % e as outras fontes são responsáveis por apenas 30 %, ELETROBRAS (2001). Analisando-se a Tabela 4 no contexto da atual crise, com a perda de confiança que foi criada com relação ao sistema elétrico brasileiro e sabendo-se que os combustíveis fósseis não renováveis precisam ser substituídos, prevê-se um grande aumento do desenvolvimento de fontes de energia renováveis não convencionais para as próximas décadas.

Tabela 4 – Evolução da matriz energética brasileira do 1970 a 1999, em %.

Fonte de Energia	1970 (em %)	1999 (em %)
Derivados de petróleo	31	31
Energia Elétrica	17	39
Outros	52	30
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Informações obtidas na *home page*: <http://www.eletronbras.gov.br>.

Os aspectos energéticos são de grande importância para a viabilização de uma atividade agroindustrial. Outro aspecto que tem cada dia mais ganho importância é o ambiental. Portanto, é aconselhável que no meio rural sejam utilizadas fontes de energia alternativas e de suprimento de fertilizantes mais autônomas, ao mesmo tempo em que os impactos ambientais de atividades agropecuárias e agroindustriais sejam minimizados. Isto porque, além da energia, geram biofertilizante a partir de resíduos que poderiam estar contribuindo com a poluição dos recursos hídricos ou aumentando o efeito estufa.

Vale salientar que esta energia é renovável, pois é possível a produção de biogás a partir de diversos resíduos orgânicos, como esterco de animais e lodos de esgoto, resíduos sólidos domésticos, resíduos agrícolas, efluentes industriais e plantas aquáticas.

Ao contrário dos sistemas centralizados de produção de energia como o petróleo, o carvão mineral, ou mesmo a energia nuclear, o biogás é um sistema descentralizado e portanto praticamente sem custos de distribuição.

## O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O grande desenvolvimento conseguido pela humanidade notadamente no último século e a conseqüente necessidade de atender, em quantidade e qualidade, as crescentes demandas de água, alimentos e energia, tem exigido da humanidade a mudança de mentalidade, do desenvolvimento a qualquer custo, que precisa ser superada, pois o modelo de desenvolvimento de exaustão dos recursos naturais, a geração e disposição inadequada de resíduos que causam sérios danos ambientais e o desperdício, são insustentáveis.

O novo paradigma que se coloca para os governos e “cidadãos planetários” é o de parcimônia com os recursos naturais, através da prática do conceito de sustentabilidade ambiental onde o homem perceba, humildemente, que pertence ao meio

ambiente e não que o meio ambiente pertence ao homem. Assim, com responsabilidade, as questões ambientais devem ser tratadas com a devida atenção, tornando-se cada vez mais de importância sócio-cultural e econômica.

As tecnologias devem contribuir para impulsionar o desenvolvimento sócio-econômico mediante o aproveitamento ótimo dos recursos, mas também devem procurar, ao mesmo tempo, que os impactos ambientais provocados pela implantação destas tecnologias sejam minimizados. Não apenas a agricultura de altos insumos mas também os pequenos produtores rurais precisam adequar-se ao conceito de eco-eficiência e atender as novas exigências de certificações e selos de qualidade ambiental do mercado.

Este novo modelo de desenvolvimento deve respeitar as diferenças culturais e contribuir para a diminuição das desigualdades sociais, buscando a autonomia e não a dependência. A construção deste processo já foi iniciada e precisa ser de responsabilidade de governos e da sociedade. Este modelo deve ser ambientalmente adequado, socialmente justo e economicamente viável.

## ASPECTOS AMBIENTAIS

Apesar do grande desenvolvimento das tecnologias anaeróbias, ocorrido nos últimos 40 anos (SPEECE, 1983), o aproveitamento energético do metano ainda não se concretizou. O novo cenário de escassez de energia elétrica no Brasil e o crescente apelo pelas preocupações ambientais locais e globais poderão dar novo impulso a sua utilização.

Os impactos ambientais devido às emissões de CH<sub>4</sub> em termos do Potencial de Aquecimento Global (GWP) para 100 anos, são cerca de 21 vezes maiores que os de CO<sub>2</sub>, como se observa na Tabela 5 que apresenta os principais gases responsáveis pelo efeito estufa, tempo de “vida”, GWP e a atual contribuição de cada gás para o efeito estufa.

Os biodigestores rurais são importantes para o saneamento rural, pois o processo de digestão anaeróbia promove a redução da carga orgânica (por exemplo: convertendo o carbono presente na matéria orgânica em CH<sub>4</sub> que é utilizado como combustível), redução dos sólidos e também a redução de microrganismos patogênicos presentes nos efluentes. Além de estimularem a reciclagem da matéria orgânica e de nutrientes, possibilitam a higienização das instalações para criação de animais, promovendo o tratamento de

seus dejetos, proporcionando diminuição de moscas e odores.

Tabela 5 - Os principais gases de efeito estufa e seus respectivos potenciais de aquecimento global (GWP)

Composto	Fórmula	Vida	GWP	Contribuição
			(100 anos)	
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	n.d.	1	55%
Metano	CH <sub>4</sub>	12	21	15%
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	120	310	6%
Ozônio	O <sub>3</sub>	1 mês	n.d.	n.d.
CFCs	n.d.	n.d.	n.d.	17%

Fonte: MCT – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (2001). Disponível na página da internet: <http://www.mct.gov.br>

É importante notar que no manejo de animais é aconselhável, assim como em outras atividades, a utilização racional da água, como um recurso escasso e que deve ser conservado. Assim, a introdução de água no sistema deve ser sempre a menor possível e deve-se dar preferência para manejos que utilizam pouca água.

### CONTRIBUIÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DOS BIODIGESTORES RURAIS

A Índia foi o primeiro país a instalar biodigestores para a produção de biogás, de maneira sistemática. A primeira unidade foi construída por volta de 1.908. Este país começou seu programa de implantação de biodigestores em 1.951 e contava até 1.992 com cerca de 160 mil unidades instaladas. A China, iniciou seu programa de implantação de biodigestores na década de cinquenta e contava até 1.992 com cerca de 7,2 milhões de unidades (BAUMANN & KARPE, 1980). Hoje a China possui cerca de 8 milhões de unidades em funcionamento.

Outros países têm realizado programas de construção de biodigestores rurais, notadamente os países em desenvolvimento. Apesar das diversas vantagens oferecidas por esses reatores, seu emprego apresenta motivações específicas: no caso da China, destaca-se o biofertilizante como a razão principal; nas Filipinas, o tratamento das águas residuárias de origem doméstica em projetos de colonização; na Tailândia, para promover o saneamento; e na Índia, a energia do biogás. Cabe ressaltar que todas estas

vantagens devem ser aproveitadas e consideradas na viabilização de programas de implantação de biodigestores rurais (FAO, 1985).

No Brasil os biodigestores rurais tiveram maior desenvolvimento na década de 80 quando contaram com grande apoio dos Ministérios da Agricultura e de Minas e Energia. Cerca de 8.000 unidades, principalmente os modelos chinês e indiano, além de alguns de plástico tinham sido construídos até 1.988, dos quais 75% estavam funcionando adequadamente, COELHO *et al* (2000).

Equipamentos auxiliares foram fabricados por empresas privadas e o programa apresentava bons resultados, foi bem aceito no setor rural, embora enfrentasse algumas dificuldades de ordem técnica, como o desgaste das campânulas de aço empregadas nos biodigestores de modelo indiano. Mas a ausência de subsídios para construção de biodigestores, o corte das verbas que dariam continuidade ao programa e a oferta de energia elétrica rural subsidiada foram os principais fatores que contribuíram para a pouca propagação desta tecnologia.

Hoje, a difusão da tecnologia dos biodigestores no Brasil enfrenta dificuldades decorrentes de: escassez de recursos financeiros, custo relativamente elevado dos biodigestores, falta de mentalidade relacionada com a importância de um programa de formação de recursos humanos para dar apoio à sua implantação e manutenção e desenvolvimento de tecnologia alternativa quanto ao projeto e materiais de construção a serem utilizados.

Os biodigestores rurais possuem atualmente uma má fama devido ao descrédito decorrente de erros de projeto, execução, operação ou manutenção. Existe por parte da sociedade um pré-conceito relacionando esta tecnologia como uma opção para pessoas de baixa renda, associada ao subdesenvolvimento e não como uma tecnologia que promove a reciclagem de nutrientes e o aproveitamento energético de resíduos. Uma tecnologia que na realidade deve ser utilizada por todos na busca da sustentabilidade ambiental.

Também conhecidos como reatores anaeróbios simplificados de primeira geração, os biodigestores rurais, caracterizam-se por apresentarem semelhantes tempos de detenção hidráulica e celular. Estes reatores podem ser projetados adequadamente ao tipo de carregamento que será operado: alimentação em batelada (ou batch), contínuo ou com alimentação mista ou semi-batch. O carregamento em batelada, apesar da simplicidade, pode ser útil em situações em que o resíduo é obtido periodicamente, como é o caso de

resíduos de restos de culturas, poda de grama ou de cama de criações confinadas. O biodigestor de carregamento contínuo deve ser projetado de acordo com o manejo dos animais e culturas agrícolas, assim como da disponibilidade de mão-de-obra.

A alimentação contínua é apropriada para materiais de fermentação fluidos e uniformes. A mão-de-obra necessária para sua operação deste tipo de alimentação pode integrar-se mais facilmente nas tarefas diárias. A produção de gás é uniforme e um pouco maior que a dos biodigestores alimentados em batelada.

Em um biodigestor contínuo, adiciona-se água ao material a ser fermentado para aumentar a fluidez desta massa, o que é importante para o funcionamento hidráulico do biodigestor. Também acelera o processo de fermentação, pois as bactérias metanogênicas encontram o substrato com mais facilidade.

Quando a alimentação é mista ou semi-batch, geralmente os biodigestores são carregados com mais de um material, como por exemplo palha e esterco de animais, sendo a degradação da palha mais lenta, sendo introduzida no biodigestor como material *batch*, com uma frequência bem menor que a do esterco que é carregado como em um reator contínuo.

Ressalta-se que, dentre as diversas possibilidades de utilização, os biodigestores rurais poderão ser projetados com o objetivo principal de atendimento de uma ou mais utilidades. Para tanto, são propostos diversos modelos que diferem, principalmente, nas tecnologias associadas para obtenção de melhores rendimentos e nas características que os tornam mais adequados ao tipo de resíduo que se pretende utilizar e à frequência com que são obtidos, observando-se também a maneira como serão operados os biodigestores.

Entre os modelos de biodigestores rurais simplificados mais utilizados distinguem-se os seguintes tipos principais: o biodigestor balão, o biodigestor com cúpula fixa (Modelo Chinês), o biodigestor com campânula flutuante (Modelo Indiano).

O biodigestor modelo balão, também conhecido no Brasil como Modelo da Marinha, apresenta baixo custo de implantação, facilidade de transporte, sua construção pode ser feita diretamente sobre o terreno ou pouco profunda, o que é uma importante vantagem para regiões com nível de lençol

freático alto. Este modelo é de fácil limpeza, descarga e manutenção.

Este modelo apresenta as seguintes desvantagens: curta vida útil (cerca de 5 anos), é sensível a danos - não é recomendado para locais onde esteja sujeito a cortes da lâmina - e utiliza pouca mão-de-obra local durante a construção. É importante que a lâmina utilizada seja tratada contra os raios ultravioleta para aumentar a vida útil destes gasômetros de material plástico, sendo conveniente a construção de uma cobertura, de preferência de materiais acessíveis, como madeira e palha.

Neste modelo precisa-se instalar um sistema com lastro para regular a pressão do gás. Outra desvantagem é que estes reatores são mais sensíveis às variações térmicas que os outros modelos. Sua utilização é recomendada para locais onde predominem temperaturas altas e constantes. Em regiões frias estes biodigestores podem ser equipados com um sistema de aquecimento e protegidos do vento.

O biodigestor Modelo Chinês, caracteriza-se pela variação de pressão no gasômetro. Caso seja requerida uma pressão constante para alimentação de equipamentos (como por exemplo para queimadores de fogões), é necessário um regulador de pressão ou um depósito de gás flutuante.

Este problema pode ser solucionado com a construção de uma instalação que pode ser construída pelo próprio usuário. Este equipamento é composto por uma pequena campânula e um mecanismo feito com conexões de PVC, que possibilita que esta campânula fique enchendo e subindo, quando o gás não está sendo utilizado, e esvaziando e descendo, quando o gás é utilizado. Este dispositivo fica então abrindo ou fechando um registro de feixe rápido, enquanto o gás, armazenado na campânula fica sob uma pressão constante de utilização. Na prática, este dispositivo provoca um estrangulamento neste registro, ou seja, uma perda de carga que é proporcional à vazão de gás que está sendo utilizada. Nas Figuras 1 e 2 apresentam-se, um biodigestor modelo chinês equipado com este regulador de pressão e o seu esquema de funcionamento.

Considera-se importante que o projetista de um biodigestor modelo Chinês mantenha no máximo uma abertura na câmara de gás, a escotilha de entrada para manutenção, pois esta pode ser mais facilmente controlada. Uma solução viável é projetar uma abertura entre tanque de compensação e a câmara de digestão, por onde possa passar uma pessoa e assim eliminar a escotilha de visita na cúpula de gás.

É muito importante que neste tipo de biodigestor as tubulações de carga e descarga do lodo não passem pela câmara de gás, evitando assim vazamentos nas interseções entre os diferentes materiais utilizados. A tubulação de saída de gás também pode passar pela abertura de descarga do lodo digerido, evitando assim qualquer furo na cúpula de gás.

O modelo chinês apresenta baixo custo de construção, não possui partes móveis, não possui partes metálicas que podem ser oxidadas e portanto são mais duráveis..

Estes biodigestores são construídos enterrados e ocupam pouco espaço fora do solo, portanto mais protegidos contra as variações climáticas da superfície, principalmente em regiões que apresentam baixas temperaturas no inverno. Em sua construção, geralmente ocupam mão-de-obra e materiais locais.

A cúpula de armazenamento do gás do modelo chinês muitas vezes apresenta vazamento, devido à porosidade dos materiais de construção geralmente utilizados e ao aparecimento de fissuras.

Quando estes vazamentos ocorrem, são muito difíceis de serem detectados e consertados. É bom lembrar que a impermeabilização do gasômetro de um biodigestor chinês é particularmente difícil em algumas regiões desprovidas de energia elétrica e com pouca disponibilidade de água, pois estes vazamentos as vezes não aparecem em testes de carga simples mas só quando o biodigestor está em funcionamento. Muitas vezes são sob condições de variação de pressão que as fissuras se propagam e ocorrem os vazamentos.



Figura 1 – Biodigestor modelo chinês com regulador de pressão

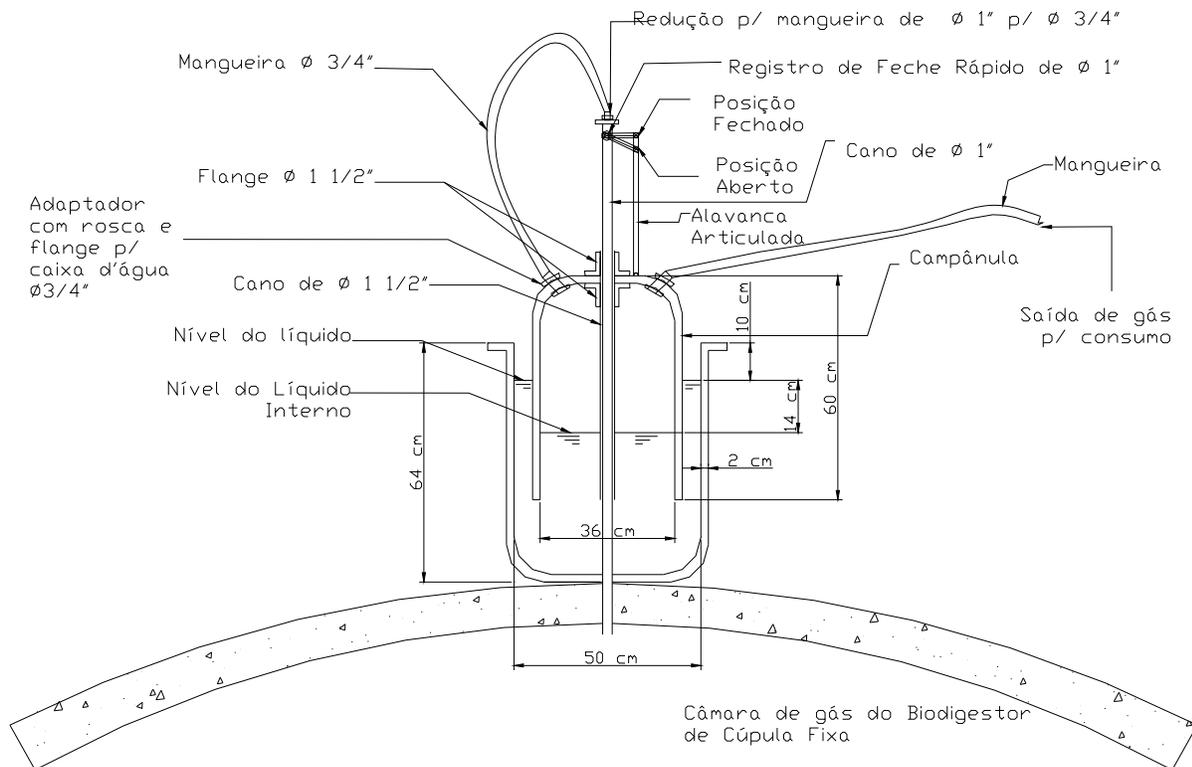


Figura 2 – Esquema de funcionamento de um regulador de pressão.

Outra desvantagem deste modelo é a ocorrência de oscilações de pressão de gás que às vezes são muito altas para ser suportadas pela estrutura ou pelos equipamentos a gás. Estes biodigestores não apresentam descarga automática, possuem portanto um manejo complicado.

O biodigestor de cúpula fixa somente deve ser recomendado para locais onde a mão-de-obra de construção seja supervisionada por técnicos com muita experiência em matéria de biodigestores e algum conhecimento de hidrostática. Seus usuários devem ser assessorados com regularidade durante um longo período, até que saibam realmente operá-los.

O biodigestor de campânula flutuante, Modelo Indiano, é composto de uma câmara de digestão e de um depósito de gás móvel. Este flutua diretamente sobre o lodo em digestão ou em um selo hídrico. Assim, é possível manter constante a pressão do gás. Este modelo pode ser operado como um biodigestor contínuo com descarga automática, dispensando o tanque de compensação.

Estes equipamentos apresentam alto custo de construção, devido à necessidade da campânula, geralmente metálica que entra em corrosão resultando uma vida útil curta, em torno de cinco anos. Apresentando assim altos custos de manutenção com a necessidade periódica de pintura da campânula.

Apesar destas desvantagens, este modelo de biodigestor, com campânula flutuante, foi o modelo mais construído no Brasil. Atualmente, tem-se conseguido bons resultados com campânulas flutuantes de fibra de vidro, devido ao desenvolvimento destes materiais que atualmente são acessíveis no comércio, apresentando custo final da obra mais barato que a alternativa de chapa de aço. A utilização de fibra de vidro tem sido viabilizada devido à grande utilização deste material em caixas de água.

O Projeto Ferrocimento da Universidade Federal do Ceará construiu diversos biodigestores com campânulas flutuantes em ferrocimento. Este material embora apresente boa impermeabilidade à água, com fissuras da ordem de menos de meio décimo de milímetro, não é permeável ao biogás e necessita de um revestimento para promover sua impermeabilização. As pequenas fissuras do ferrocimento podem ser impermeabilizadas com uma capa de pintura elástica de alta espessura ou de epoxi aplicada pela parte interior da campânula. Nas Figuras 3 e 4 apresentam-se uma foto de um

biodigestor modelo indiano construído em ferrocimento artesanal e o seu esquema de funcionamento.



Figura 3 – Biodigestor modelo indiano construído em ferrocimento artesanal, com capacidade de produção de 10 m<sup>3</sup> de biogás/dia.

Considera-se aqui que o modelo de biodigestor indiano é o mais apropriado para o sistema de alimentação contínua, de acordo com a disponibilidade dos resíduos dos pequenos produtores rurais. E sugere-se que sistemas de agitação, aquecimento, pré-fermentação etc, sejam associados a estes biodigestores, porém atenta-se que os custos de construção e de equipamentos assim como a disponibilidade de assistência técnica, sejam analisados com rigor.

Uma das contribuições para que a tecnologia dos biodigestores seja viabilizada é a elaboração de projetos profissionais que funcionem bem. Estes devem ser construídos de tal maneira que satisfaçam às exigências e comodidades dos seus usuários, sendo ao mesmo tempo moderno e simples, economicamente acessível, de fácil operação e manutenção. Os biodigestores precisam ser rigorosamente operados, obedecendo critérios técnicos, caso contrário, não funcionarão a contento, não serão apropriados. Sendo importante lembrar que o processo de digestão anaeróbia depende das condições climáticas locais.

A exemplo do que observa-se hoje nos projetos paisagísticos de grandes estações de tratamento de águas residuárias, é muito importante que o espaço onde esteja instalado o biodigestor seja limpo e ornamentado com plantas para que fique agradável e bonito como um jardim.

Observa-se que existem biodigestores rurais que não funcionam bem ou que estão desativados porque apresentam erros de projeto e/ou de construção ou mesmo porque são inadequadamente operados. O pior é que muitas vezes estes erros são copiados e a tecnologia torna-se de difícil aceitação.

Um dos erros mais comuns ocorrem no cálculo do volume do gasômetro. Este cálculo deve levar em conta as curvas de demanda e de produção de gás. O depósito de gás deve estar dimensionado de tal maneira que possa absorver os picos de maior consumo diário, e ainda, deve acumular todo o gás que seja produzido. O depósito de gás deve ainda compensar as flutuações diárias da produção de gás prevista, para tanto, sugere-se aumentar em 25% o volume do gasômetro.

A câmara de digestão deve ser impermeável à água e o gasômetro não deve apresentar perdas de gás. Por estas razões a estrutura do biodigestor deve resistir aos esforços e não formar fissuras que comprometam seu funcionamento, porém observa-se que construções com alvenaria e concreto geralmente apresentam grandes fissuras, seja por estarem expostas às intempéries, terem sido executadas com material de má qualidade ou ainda tenham sido mal dimensionadas. Isto ocorre com maior freqüência em construções rurais, condição agravada pela falta de controle de qualidade dos materiais de construção utilizados. Isto não é muito importante quando se

constrói uma obra sem muita responsabilidade, pequenas obras rurais, mas no caso do biodigestor é importante que sejam tomadas algumas precauções.

As formas arredondadas podem distribuir melhor as tensões provocadas por carregamentos, pressões hidrostáticas e empuxo de terra, diminuindo assim as sollicitações e o aparecimento de fissuras. Este é o caso de estruturas curvas (ver Figura 5).

As fissuras nas estruturas são formadas principalmente em locais onde concorrem tensões mais intensas e concentradas, os picos de tensão. Estas tensões ocorrem geralmente nas bordas, cantos, pequenos ângulos e sob a ação de cargas concentradas. É como se a natureza quisesse consertar o erro do projetista e otimizar a forma.. Por isto os biodigestores não devem apresentar arestas nem cantos. Deve-se, assim, vencer a força pela forma e não pela força, utilizar estruturas orgânicas otimizadas, que copiem as formas da natureza e dê preferência às cascas de dupla curvatura.

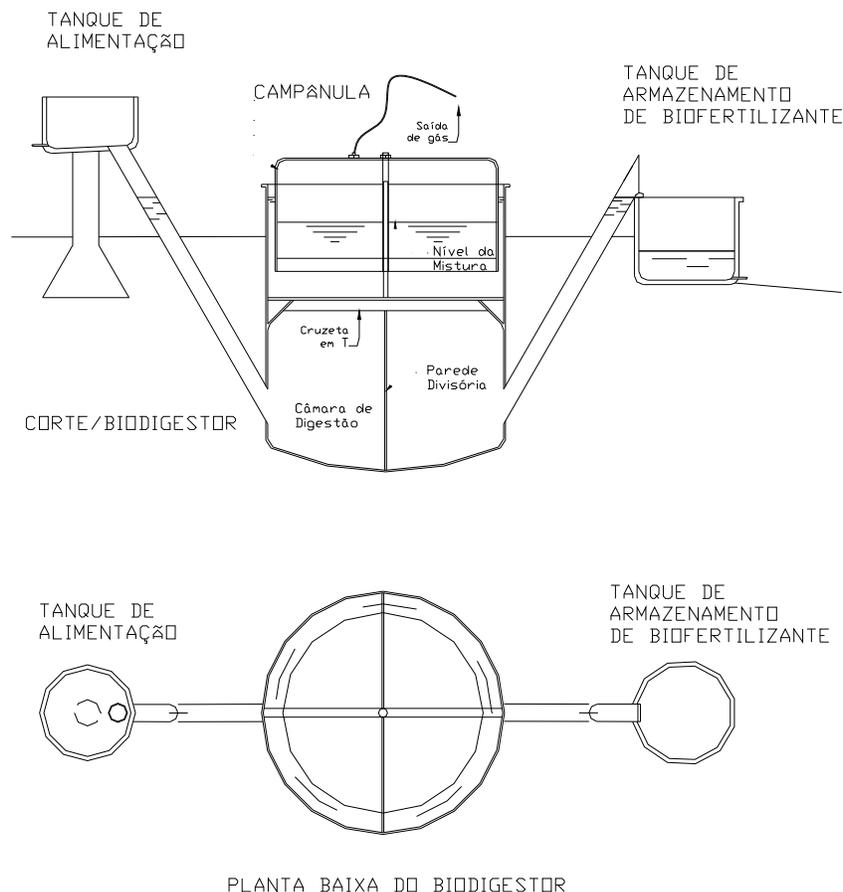


Figura 4 - Esquema de funcionamento de um biodigestor de câmpânula flutuante construído em ferrocimento artesanal.  
Fonte: ANDRADE *et al.* (1994)

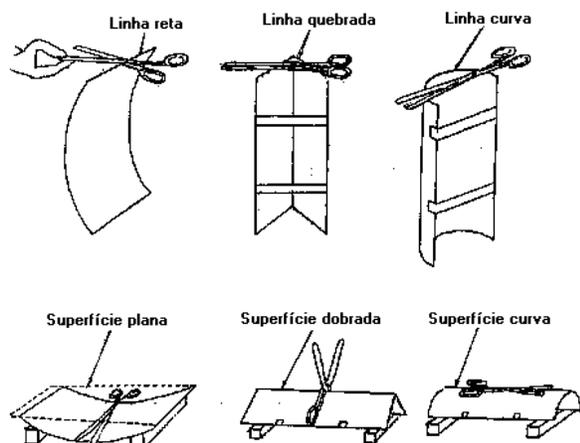


Figura 5 – Importância da forma na absorção de cargas estáticas  
Fonte: DIÓGENES (1987)

O terreno onde será construído o biodigestor deve ser firme e livre de formigueiros ou tocas de animais. A base do biodigestor deve ser resistente o suficiente para absorver eventuais solicitações provocadas por recalques diferenciais do terreno. É muito importante que no dimensionamento da estrutura do biodigestor sejam consideradas todas as possibilidades de carregamento: biodigestor vazio, biodigestor cheio de líquido, com carga máxima de gás etc.

A construção de uma alvenaria de tijolo em forma de casca semi-esférica não representa maiores dificuldades. É uma técnica milenar que pode ser aprendida por qualquer pedreiro com algumas instruções, enquanto a construção de uma abóbada de concreto requer mais conhecimento devido à necessidade da utilização de formas de difícil execução. Já as construções com ferrocimento artesanal são facilitadas por permitir construções com grande liberdade de forma.

Os grandes biodigestores não pertencem ao tipo de biodigestores rurais simplificados, por isto não serão tratados aqui em detalhe. O projetista precisa saber, porém, que as medidas de um biodigestor rural não podem simplesmente ser aumentadas à vontade. A câmara de digestão se aumentada requer um sistema de agitação ou mudança na forma do biodigestor para garantir um melhor comportamento hidrodinâmico.

O modelo indiano não deve ter uma grande campânula, pois estas são pesadas e difíceis de serem manipuladas durante a construção, o transporte e a

operação do biodigestor. Já os biodigestores de campânula fixa, o aumento de suas dimensões pode acarretar no aparecimento de grandes pressões de gás e hidrostáticas sobre as estruturas. Nestes casos, para prevenir o surgimento de grandes pressões de gás, é recomendada a construção de um depósito de gás separado.

## PRODUÇÃO E USO DO BIOGÁS E DO BIOFERTILIZANTE

Biogás é uma mistura de gases cuja composição depende de diversos fatores, como a temperatura em que se desenvolve o processo, o tipo de material a ser digerido, o tempo de retenção etc.

O poder calorífico do biogás é em média aproximadamente a 5500 kcal/m<sup>3</sup>. Assim, cada metro cubico de biogás equivale, aproximadamente, ao valor energético de: 0,45 kg de GLP; 0,55 litros de óleo diesel; 1,1 litros de gasolina comum; 0,58 litros de querosene; 1,5 kg de lenha; 0,74 kg de carvão mineral; 0,8 kg de carvão vegetal ou ainda a 1,43 kWh. Mas, levando-se em conta que ele é produzido junto ao local onde é consumido, deve apresentar um melhor aproveitamento energético global. Ele pode ser utilizado na própria atividade, em: iluminação, aquecimento, refrigeração, secagem de grãos, incubadoras, misturadores de ração, geradores de energia elétrica etc.

O biogás pode ser utilizado como qualquer outro gás combustível. Ele é inodoro como o gás butano, mas como vem misturado ao gás sulfídrico, que exala um forte odor, não necessita da adição de odorizantes por motivo de segurança. A mistura de biogás com ar em uma relação de 1:20 forma uma combinação explosiva. Portanto, deve-se ter cuidado com tubulações de gás em recintos fechados. Ressalta-se que não se têm na literatura informações de explosão de biodigestores, talvez por que o biogás seja mais leve do que o ar, sendo sua massa específica em relação ao ar de 0,77 (CAEEB, 1981), ao contrário do GLP (gás liquefeito de petróleo ou gás de cozinha) que é mais pesado do que o ar.

Conforme dados disponibilizados pelo IBGE (1997), o Brasil é o quarto produtor mundial de suínos, contando com cerca de 38 milhões de cabeças, apresentando-se com grande potencial poluidor. Enquanto um ser humano contribui com 54 g/DBO/dia, uma matriz de suíno contribui com cerca de 340 g/DBO/dia (CARIOCA & ARORA, 1984).

Somente o Estado de Santa Catarina possui um rebanho efetivo de aproximadamente 4,5 milhões de

suínos, sendo que apenas 15 % dos dejetos por eles gerados são convenientemente manejados.

Levando-se em conta que um kg de dejetos de suíno pode produzir em um biodigestor cerca de 63 litros de biogás e que estes suínos produzem em média 2,3 kg de dejetos/dia, pode-se afirmar que os 4,5 milhões de suínos do estado de Santa Catarina correspondem a um potencial energético de aproximadamente 932 MWh.

Os biodigestores poderiam ajudar a resolver um dos principais problemas do mais importante setor agroindustrial deste estado, a suinocultura, contribuindo com o tratamento dos dejetos e ainda possibilitando a redução do consumo de água no manejo desta atividade, devido ao baixo grau de diluição necessário para a alimentação dos biodigestores.

Segundo o Anuário Estatístico do Brasil (IBGE, 1997), o rebanho brasileiro era de 118,68 cabeças de bovino de corte, os quais estima-se que gerem 8,5 t/ano (ou 24 Kg/dia) de esterco. Quanto à bovinocultura de leite, eram 39,56 milhões de cabeças de bovinos que devem gerar 18,25 toneladas de esterco por animal/ano.

Observa-se que o potencial de utilização destes dejetos não é grande se comparado com o potencial hidrelétrico brasileiro e com as demandas de energia do país, mas deve-se lembrar que este biogás está sendo desperdiçado e, o que é pior, está causando sérios impactos ambientais.

A utilização do biofertilizante em alguns casos pode ser o principal benefício produzido por um biodigestor. Muitas vezes estas unidades são projetadas tendo o biogás como um subproduto, pois o maior interesse volta-se justamente para o biofertilizante. Em outras situações pode-se ter como o maior interesse obedecer a legislação ambiental relativa a padrões de lançamento, como é o caso de muitos produtores de suínos.

A aplicação do biofertilizante em solos agrícolas deve ser feita observando-se as inter-relações solo-água-cultura e respeitando-se os princípios da ciência do solo, saúde pública e hidrologia. O biofertilizante pode contribuir para melhorar a estrutura e correção do pH do solo, em casos de aplicação prolongada. O aumento da proporção de matéria orgânica no solo possibilita um maior armazenamento de água. O ideal é a aplicação direta do biofertilizante no solo, caso tenha que armazená-lo antes de levá-lo ao campo, este deve ser

coberto. Assim, perde-se menos nitrogênio por volatilização.

A disposição do biofertilizante no solo deve estar condicionada, no que refere-se a presença de patogênicos, a critérios de qualidade microbiológica a exemplo dos que são recomendados pela OMS (HESPANHOL & PROST, 1994) para o reúso de águas residuárias na irrigação.

Os benefícios a serem conseguidos com o biofertilizante produzido no biodigestor dependem dos conhecimentos dos camponeses sobre sua utilização e aplicação. De cada quilo diário de biofertilizante obtido de esterco de gado bovino, têm-se em torno de 0,5 Kg de nitrogênio extra ao ano, em comparação com o esterco fresco. Cada tonelada de dejetos de suínos apresenta em média 6,8 Kg de nutrientes NPK, este adubo orgânico pode ser, por exemplo, utilizado na cultura de milho para alimentação dos animais.

Quando utiliza-se o biofertilizante na agricultura, deve-se atentar para as questões sanitárias de proteção aos trabalhadores rurais e aos consumidores, tomando alguns cuidados devido à presença, embora possam ser minimizadas, de microorganismos patogênicos nos biofertilizantes. O tipo de aplicação, o tipo de cultura e o tempo requerido para a suspensão da aplicação antes da colheita também devem ser observados.

Caso as doenças parasitárias sejam muito comuns na região, a melhoria da higiene promovida pela utilização de biodigestores pode trazer também vantagens à saúde e maior disposição para o trabalho. Quanto maior for o tempo de detenção melhor é o biofertilizante e mais agentes patogênicos são eliminados. Temperaturas mais altas também produzem lodos digeridos mais higiênicos.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS CONCLUSÕES**

Ressalta-se a necessidade de repensar e planejar uma nova matriz energética brasileira, incrementando nesta nova matriz - a utilização dos dejetos de animais para a produção de energia - mesmo que este potencial energético de aplicação não seja muito grande, pois devem ser considerados outros aspectos como o ambiental e o social, decisivos na implantação desta alternativa.

Para viabilizar a aplicação desta tecnologia propõe-se um amplo programa de difusão tecnológica, no qual seja indispensável a educação ambiental, a capacitação camponesa e a participação dos beneficiários na escolha da tecnologia a ser adotada.

Para tanto, o expansionista precisa ensinar e aprender, compartilhando com o agricultor a responsabilidade da escolha do projeto a ser adotado.

Defende-se a utilização de biodigestores rurais pelas vantagens de sua utilização. Ressalta-se que o potencial de sua aplicação no país é significativo para o meio rural, já que a demanda de energia deste segmento está em torno de apenas 4% da demanda total do país.

Para que o aproveitamento dos biodigestores tenha êxito, é necessário transpor algumas barreiras:

- Descontinuidade de ações políticas de apoio e falta de coordenação entre os diversos níveis de governo;
- Falta de fiscalização para cumprimento das leis devido a ingerência política e sucateamento dos órgãos de defesa do meio ambiente;
- Dificuldades associadas à apropriação dos projetos dos biodigestores;
- Poucos fornecedores de tecnologia e pessoal técnico treinado;
- Escassez de recursos financeiros, juros altos e resistência em assumir riscos;
- Pensamento conservador e falta de consciência ecológica;

Finalmente, para que este potencial não seja desperdiçado, é urgente a realização efetiva de um programa de implantação de biodigestores, com apoio governamental e que contemple o desenvolvimento e a disseminação desta tecnologia.

## PALAVRAS CHAVES

Biodigestor rural, energia alternativa, biogás, sustentabilidade ambiental.

## REFERÊNCIAS

[1] ELETROBRÁS; **Relatório: "Participação das empresas de geração na capacidade instalada"**. Disponível na página da internet: <http://www.eletronbras.gov.br> ; 2001.

[2] SPEECE, R. E.; **Rewiew: environmental requirements for anaerobic of biomass**; Advances in Solar Energy; 1983.

[3] MCT – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA; Disponível na página da internet: <http://www.mct.br>; 2001.

[4] BAUMANN, W.; KARPE. H. J.; **Wasterwater treatment and excreta disposal in developing counties**; GTZ – GATE; Dortmund; 186p; 1980.

[5] FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATIONS; **Water Quality for Agriculture, Irrigation and Drainage**; Vol. 1; 1985.

[6] COELHO *et al*; **Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termelétrica**; Dupligráfica; Brasília; 2000.

[7] ANDRADE, M. A. N. *et al*; **Cartilha do biodigestor rural de ferrocimento artesanal.**, Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Extensão; Centro de Tecnologia; Fortaleza; 32p; 1994.

[8] DIÓGENES, A.; **Cartilha do ferrocimento artesanal**; Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia; Fortaleza; 72p; 1987.

[9] CAEEB - ; **O Biogás e sua tecnologia**; Diretoria Técnica, Departamento de Estudos de Novas Fontes Alternativas de Energia; Rio de Janeiro; .31p; 1981.

[10] IBGE. **Anuário Estatístico do Brasil – 1997**. Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE; Rio de Janeiro; 1997.

[11] CARIOCA, J. O. B. & ARORA, H. L.; **Biomassa: Fundamentos e Aplicações Tecnológicas**, Universidade Federal do Ceará – Banco do Nordeste; Fortaleza; 644p; 1984.

[12] HESPANHOL, I.; PROST, A. M.; **WHO guidelines and national standarts for reuse and water quality. Water Research**; Vol. 28; Num. 4; p.237-249; 1994.