

*NOTA: 803*

*1755*

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia Mecânica

Trabalho de Formatura

Título: BIODIGESTORES DE BIOMASSA PARA A PRODUÇÃO  
E APROVEITAMENTO DO METANO

Autor: Luis Claudio dos Santos

Orientador: Prof. Hildo Pera

1983

## SUMÁRIO

Este trabalho consiste na apresentação do estudo desenvolvido sobre biodigestores de biomassa para a produção e aproveitamento do metano, visando apresentar o biogás como uma das fontes de energia para a solução do problema de energização rural, ou seja, substituição dos combustíveis convencionais na produção agrícola.

Nesta análise procuramos abordar as características do biogás, aspectos construtivos dos biodigestores, fatores que influenciam na produção do biogás, cuidados mínimos na utilização do equipamento de obtenção do gás, manutenção deste equipamento, descrição dos principais tipos de biodigestores, métodos de escolha e de cálculo do biodigestor, além das características da utilização do biogás.

Portanto, o objetivo principal deste trabalho é mostrar que a tecnologia da biofermentação é a resposta à necessidade energética da área rural.

## ÍNDICE

CAPÍTULO	PÁG
1. INTRODUÇÃO . . . . .	01
2. PRODUÇÃO DE BIOGÁS . . . . .	02
3. BIOLOGIA DA DIGESTÃO ANAERÓBIA . . . . .	04
4. FATORES QUE INFLUEN NA BIODIGESTÃO . . . . .	05
a) Temperatura . . . . .	05
b) Impermeabilidade do ar . . . . .	05
c) Acidez . . . . .	05
d) Concentração . . . . .	06
e) Agitação da mistura . . . . .	06
f) Substâncias prejudiciais . . . . .	07
g) Nutrientes . . . . .	07
h) Matéria prima . . . . .	11
i) Carga diária . . . . .	12
j) Período de retenção . . . . .	12
5. O BIODIGESTOR . . . . .	13
6. TIPOS DE BIODIGESTORES . . . . .	14
a) Biodigestor tipo indiano . . . . .	15
b) Biodigestor chinês . . . . .	16
c) Biodigestor de plástico . . . . .	16
d) Biodigestor tipo batelada . . . . .	17
7. USO E NECESSIDADES DE BIOGÁS . . . . .	17
8. QUANTIDADE DE MATERIA PRIMA . . . . .	19
9. CUIDADOS MÍNIMOS DE OPERAÇÃO . . . . .	19
10. CONDENSAÇÃO . . . . .	21

CAPÍTULO	PÁG
11. ESCOLHA DO BIODIGESTOR . . . . .	21
12. BIOFERTILIZANTE . . . . .	22
13. CÁLCULO DO BIODIGESTOR . . . . .	23
a) Dimensionamento da câmara de digestão . . . . .	23
b) Dimensionamento do gasômetro . . . . .	26
14. EXEMPLO PRÁTICO DE DETERMINAÇÃO . . . . .	28
15. MATERIAIS E ASPECTOS CONSTRUTIVOS . . . . .	32
16. CONCLUSÃO . . . . .	34

## 1. INTRODUÇÃO

O uso de determinadas fontes alternativas de energia encontra seu melhor aproveitamento na área rural. São nas propriedades rurais, particularmente naquelas que se dedicam à agricultura associada à pecuária, que existe uma diversificada necessidade de energia. Ali, a energia é usada, tanto nos processos tradicionais, como em moto-bombas e eletrodomésticos. Estes, por sua vez, usam eletricidade gerada em moto-geradores movidos a partir de combustível líquido.

Numa propriedade rural, a geração de energia elétrica para a iluminação residencial, o calor consumido na preparação dos alimentos e o consumo de óleo diesel em máquinas de preparação de forragens, caracterizam a demanda de energia mais comum na área rural. Tais modos de consumo de energia diferem muito em intensidade e destinação de uma propriedade para outra. Este fato provoca dificuldade na padronização dos equipamentos e dos geradores de energia, exigindo para cada situação um projeto específico.

Mesmo existindo dificuldades no que se refere ao dimensionamento dos projetos, devido a diversificação do uso da energia, é na área rural onde são encontradas as fontes alternativas de energia na sua forma mais prontamente disponível. Portanto, a diversidade de uso é equilibrada pela variedade de fontes energéticas. Ali podem ser encontradas as pequenas quedas d'água, também conhecidas como minicentrais hidrelétricas; a energia eólica, usada na geração de energia elétrica e bombeamento d'água; a energia solar, já adotada no Brasil para aquecimento d'água; e a fermentação anaeróbia de resíduos agropastoris, que produz o gás combustível metano em mistura com dióxido de carbono.

As hidrelétricas seriam úteis em regiões caracterizadas por pluviosidade alta, onde rios perenes aliados aos desníveis topográficos naturais evitariam o alagamento de áreas cultiváveis, seja, devido à vazão contínua, seja pela altura da queda. A energia solar, preconizada como a grande fonte de energia renovável, ainda depende de equipamentos com custo de produção muito alto para a capacidade de endividamento de um proprietário rural.

Dentre as fontes de energia, desponta a fermentação anaeróbia de excrementos animais como a forma conveniente de geração de combustível no setor agrícola, dado que a matéria prima básica são os excrementos animais e os resíduos vegetais, ambos subprodutos das atividades rurais. Instalar biodigestores, ou seja, equipamentos que tratam dos resíduos transformando-os em combustíveis gasosos e biofertilizantes orgânicos, através da degladação biológica, é tarefa simples. Os biodigestores operam de forma a produzir a mesma quantidade de gás. Como a fermentação biológica exige temperaturas de 25 a 40 °C, o processo de biofermentação é particularmente recomendado para regiões de clima quente ou temperado, onde a temperatura do ar não atinge valores inferiores a 10 °C.

Portanto, a biofermentação é um processo de obtenção de energia a baixo custo, que vem apresentando resultados favoráveis.

Na China e na Índia é que encontramos a maior quantidade de biodigestores instalados, mas os objetivos nesses dois países são diferentes. A China tem como objetivo principal a produção de biofertilizantes, pois a produção de alimentos é seu grande problema, daí o desenvolvimento do biodigestor modelo chinês, mais simples e econômico. Na Índia o problema é energético, daí o desenvolvimento de um modelo mais técnico e sofisticado, conhecido como modelo indiano.

## 2. PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Biogás é o produto da fermentação anaeróbica da matéria orgânica fresca (dentro de certos limites de temperatura), utilizada como matéria prima. A matéria prima melhor estudada é representada pelos dejetos animais, particularmente bovinos. O biogás é uma mistura de metano e gás carbônico, havendo às vezes na mistura outros gases de menor importância como o gás sulfídrico.

O poder calorífico do biogás varia de acordo com a quantidade de metano ( $\text{CH}_4$ ) existente na mistura. Quanto maior o teor de metano, menor é o teor de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e, portanto maior o poder calorífico do biogás. Em média é de 5.500Kcal. Assim cada metro cúbico de biogás equivale, aproximadamente a:

- 0,8 Kg de carvão vegetal
- 1,5 Kg de lenha
- 0,58 l de querosene
- 0,55 l de óleo diesel
- 0,61 l de gasolina amarela
- 1,43 Kwh
- 0,45 Kg de GLP (gás de bujão)
- 0,80 l de álcool carburante
- 0,74 Kg de carvão mineral

Um barril de petróleo (159 litro) corresponde, em média, a  $302 \text{ m}^3$  de biogás, uma vez que 1 Kg de petróleo possui 10.400 Kcal.

A combustão do metano não deixa resíduos. O gás com 90% de  $\text{CH}_4$  queima com chama luminosa. Quando puro a chama não é luminosa. Não é tóxico, mas age sobre o organismo humano dilui-

do o oxigênio e, em consequência, provocando a morte por asfixia. Muito estável, não é solúvel em água.

O metano sob pressão de 140 atm liquefaz-se a 0°C, enquanto que outros hidrocarbonetos mais pesados (propano, isobutano e butano) também chamados de gases liquefeitos de petróleo (GLP), se liquefazem a baixa pressão: o propano precisa de 8,7 atm, o isobutano 3,2 atm e o butano 2,2 atm. O propano e o butano, aproximadamente em partes iguais, dão origem ao GLP, que é o gás de bujão, comercialmente de 13 ou 45 Kg. o peso específico do biogás é de 0,55 em relação ao ar.

### 3. BIOLOGIA DA DIGESTÃO ANAEROBIA

Toda digestão anaeróbia (ausência de oxigênio) é um processo biológico. O organismo anaeróbico não pode sobreviver enquanto existir oxigênio. Por isto, no biodigestor não deve entrar ar atmosférico.

Só as bactérias anaeróbias metanogênicas produzem gás metano. Pertencem a quatro grupos morfológicos e são muito sensíveis a variações de temperatura, podendo atuar numa faixa de 10 a 45°C, atingindo uma atuação ótima na casa dos 36°C. São denominadas bactérias mesófilas. Acima de 45°C atuam as termófilas.

Do ponto de vista biológico, o sucesso de um biodigestor depende de um balanceamento entre as bactérias que produzem ácidos orgânicos e as que produzem gás metano dos gases orgânicos. A obtenção do balanceamento adequado, depende da carga diária com água suficiente, do pH, temperatura e qualidade do mate-

rial orgânico.

#### 4. FATORES QUE INFLUEM NA BIODIGESTÃO

##### a) TEMPERATURA

A produção de biogás ocorre entre as temperaturas de 5 a 65°C, mas os microorganismos produtores de metano são muito sensíveis à mudanças de temperatura, dessa maneira, a temperatura no interior do biodigestor afeta sensivelmente a produção de biogás. Uma mudança de temperatura que excede a 3°C influí na produção. O biodigestor deve ser enterrado no solo, onde a temperatura se mantém mais constante.

##### b) IMPERMEABILIDADE DO AR

Nenhuma das atividades biológicas dos microorganismos (reprodução, desenvolvimento e metabolismo) exigem oxigênio, a cuja presença são eles muito sensíveis.

A decomposição da matéria orgânica na ausência de ar produz metano e na presença de ar produz CO<sub>2</sub>. Daí a necessidade de se vedar o biodigestor para não inibir a produção do biogás.

##### c) ACIDEZ

Os microorganismos exigem um ambiente neutro ou ligeiramente alcalino. O ambiente muito ácido ou alcalino diminui a eficiência da fermentação. pH na faixa de 7 a 8,5 satisfaz melhor

à fermentação e a produção de gás.

No processo de obtenção do Biogás, a fase inicial é caracterizada por um pH abaixo de 6, quando uma grande quantidade de CO<sub>2</sub> é liberada. Com a formação de amônia e redução da quantidade de CO<sub>2</sub>, é verificado um aumento da quantidade de CH<sub>4</sub> e o pH alcança 7. A partir daí, existe uma tendência para a estabilização do pH entre 7,2 e 8,5.

O pH pode ser medido através de um papel tornassol, molhando-o no efluente. Caso o papel adquira coloração vermelha temos pH ácido (inferior a 7), caso contrário coloração azul pH alcalino (superior a 7). Se o pH torna-se ácido, depois da digestão estabilizada, procede-se a reciclagem do efluente (2 a 3 vezes por semana) para aumentar o pH, ou então pode-se reduzir o volume da carga diária no biodigestor.

#### d) CONCENTRAÇÃO

A concentração ideal está em 6 a 9% de sólidos, daí a necessidade de diluir a matéria prima. No caso de dejetos bovinos, a proporção indicada é de 1 : 1 (uma parte de esterco fresco para uma parte de água), contudo a proporção ideal é de 4 partes de esterco para 5 partes de água.

#### e) AGITAÇÃO DA MISTURA

É importante agitar ligeiramente a mistura para quebrar as possíveis crostas que se formam na superfície, que por sua vez induzem a diminuição do pH da mistura. Não se faz necessária a agitação contínua da mistura. Uma agitação de 15 minutos a cada hora é suficiente para aumentar a produção do gás e prever a formação de crostas. Contudo, em dois instantes da operação será requerida a agitação da biomassa visando homogeneizar a massa em fermentação. A primeira ocorre no momento em que é suprida a car-

ga diária, e a segunda durante o consumo mais intenso de gás. O processo de agitação da mistura deve ser feito em intervalos regulares, nunca continuamente. Uma operação contínua pode vir a ser prejudicial para a reprodução e metabolismo bacteriano.

f) SUBSTÂNCIAS PREJUDICIAIS

Materiais poluentes, como Cu, Cr,  $\text{NH}_3$ , K, Ca, Mg, NaCl, e Ni presentes em produtos desinfetantes e de limpeza, agem negativamente sobre as bactérias do biogás, prejudicando a produção.

g) NUTRIENTES

Os principais nutrientes dos microorganismos são carbono, nitrogênio e sais inorgânicos. O carbono, para fornecer energia e o nitrogênio, para construir a estrutura das células. As bactérias utilizam carbono cerca de 30 vezes mais rápido.

A biodigestão anaeróbia apresenta melhor resultado quando o material que alimenta as bactérias certa quantidade de carbono e nitrogênio juntos. Uma relação específica entre carbono e nitrogênio deve deve ser mantida entre 20:1 e 30:1. Esta é a melhore faixa da relação C/N para a biodigestão anaeróbia. Caso exista uma alta quantidade de carbono (60, por exemplo) no material, o nitrogênio é utilizado em primeiro lugar, proporcionando uma biodigestão mais lenta. Se existir muito nitrogênio ou baixa relação C/N, o carbono é consumido totalmente e a partir daí a biodigestão para, ao mesmo tempo em que o nitrogênio que permanece se perde na forma de gás amônia ( $\text{NH}_3$ ). Esta perda reduz a percentagem de nitrogênio no efluente.

A principal fonte de nitrogênio são as dejeçoẽs, humanas e animais, enquanto que os polímeros presentes nos resíduos

de cultura representam o principal fornecedor de carbono.

A qualidade do biogás pode ser estimada pela relação C/N do material usado na carga do biodigestor. Cerca de 50 a 70% da carga introduzida pode ser convertida em biogás caso a temperatura seja favorável e o material de boa qualidade.

Alguns compostos e resíduos são indigestíveis para as bactérias, como a lignina, palhas e fibras de vegetais.

A quantidade de nitrogênio presente nas palhas e nos organismos animais varia com a idade e o desenvolvimento. É maior a quantidade de nitrogênio nos excrementos de aves porque as fezes são expelidas com a urina. Os ruminantes possuem menor teor de nitrogênio porque parte dele é metabolizado pelas bactérias intestinais. Animais estabulados produzem material orgânico, mais rico em nitrogênio, do que os mantidos em regime de pastagens.

O carbono, diferentemente do nitrogênio, existe em muitas formas, as quais não são diretamente usadas pelas bactérias. A indigestível mais comum é a lignina, de composição complexa que torna as plantas rígidas (casca de arroz, por exemplo) e resistentes à digestão.

Quadro 5 - Valor da matéria orgânica em carbono e nitrogênio

MATÉRIA ORGÂNICA	N TOTAL (% peso seco)	RELAÇÃO (C/N)
Urina.....	16	0,8
Sangue.....	12	3,5
Fezes humanas.....	6	6-10
Urina humana.....	18	-
Estados		
Aves.....	6,3	15
Ovino.....	3,8	-
Suíno.....	3,8	-
Eqüino.....	2,3	25
Bovino.....	1,7	18
Restos de culturas		
Gramí contada.....	4	12
Alfafa.....	2,8	17
Palha de aveia.....	1,1	48
Blue grass.....	2,5	19
Casca de amendoim...	-	36
Palha de trigo.....	0,5	150
Serragem.....	0,1	200-500
Soja.....	-	5
Semente de algodão..	-	5

NOTA: A tabela representa uma média das medidas indicadas por vários autores e deverá ser usada apenas para aproximação.

Fonte: IAI, Newsletter nº 3, 1973.

Quadro 5 - Valores aproximados da relação C/N de alguns tipos de matéria-prima.

MATÉRIA-PRIMA	CARBONO (% do peso total)	NITROGENIO (% do peso total)	PROPORÇÃO CARBONO/NITROGENIO (% C/N)
Folha seca.....	46	0,53	87:1
Pelma seca de arroz.....	42	0,63	67:1
Rasteira de milho...	40	0,75	53:1
Folhas caídas...	41	1,00	41:1
Rasteira de soja...	41	1,30	32:1
Capim native, zeia, etc.,(1)...	14	0,54	27:1
Rasteira de amendoim	11	0,59	19:1
Estrume fresco de ovinos.....	16	0,55	29:1
Estrume fresco de bovinos.....	7,3	0,29	25:1
Estrume fresco de equinos.....	10	0,42	24:1
Estrume fresco de suínos.....	7,3	0,60	13:1
Ejeções humanas secas.....	2,6	0,85	2,9:1

Fonte: A Chinese Biogás Manual, 1979

(1) - Capim de folhas finas e estreitas

#### h) MATERIA PRIMA

A quantidade de gás varia com o tipo de dejetos, variável também de animal para animal. Dá mesma forma o dejetor do mesmo animal pode variar de acordo com a ração consumida.

A fermentação de um só material dá mau resultado. Deve-se proceder a uma mistura conveniente para atender as condições locais.

Procurando-se aumentar o ritmo da fermentação e da produção de gás, é realizada uma pré-fermentação da matéria orgânica, sobretudo do material fibroso (palha, sabugo e capim), antes de introduzi-los no biodigestor. Caso contrário a decomposição fica demorada e dificultada, pois este material flutua, além de não se misturar com o restante. Este material necessita de aproximadamente 10 dias em estado de pré-fermentação para estar em bom estado de uso.

Volume por volume, retos de culturas produzem sete vezes mais biogás do que dejetos animais.

Um biodigestor pode converter em biogás aproximadamente 50 a 70% de uma boa matéria prima introduzida, em condições satisfatórias de temperatura. A produção de biogás aumenta se forem adicionados ao esterco restos de culturas previamente fermentados, em pequenas quantidades.

Principais matérias primas utilizadas :

##### I- Resíduos vegetais:

Toda propriedade agrícola dispõe de restos de cultura para suprimento do biodigestor, entretanto, acumulam resíduos (lignina e outros materiais indigestíveis) no seu interior. O processo mais eficiente é a introdução de plantas suculentas, algas, frutos ou plantas que não contenham lignina.

### II- Esterco :

O esterco possui a vantagem de se misturar bem com a água, além de ser coletado sem grande dificuldade. Apresenta digestão normal e produz boa quantidade de gás. É bom fertilizante rico em nitrogênio.

### III- Fezes :

É material de excelente digestão anaeróbia, mas possui o inconveniente de ser de difícil captação.

#### i) CARGA DIÁRIA

Quinze dias depois de colocar a primeira carga total no biodigestor, procede-se à primeira carga diária. Caso a carga diária da mistura for excessiva, acumulam-se ácidos, paralizando a digestão. A mistura deve possuir consistência de creme ralo. Quando o material que sai do biodigestor tem cheiro e atrai moscas, significa que a fermentação não está pronta. Nesse caso deve-se diminuir a quantidade de mistura colocada diariamente, para que o material fique mais tempo no interior do biodigestor.

#### j) PERÍODO DE RETENÇÃO

É definido como o número de dias em que o material permanece fermentando e portanto produzindo o biogás. Caso a mistura contenha água em excesso, torna-se fisicamente instável e impede a fermentação. À medida que se dilui a mistura, diminui o período de retenção. Se não for obedecido o período de retenção das coisas podem acontecer: Se baixarmos o tempo de retenção, vamos descarregar material imperfeitamente digerido; se aumentarmos a retenção teremos um tempo ocioso, onde não há mais formação de biogás.

A agitação da mistura assegura o contato entre as bactérias produtoras de metano e o material em fermentação, o que resulta na produção máxima de biogás.

## 5. O BIODIGESTOR

A produção de biogás é possível com a utilização de um equipamento denominado biodigestor. Este é constituído, principalmente, de uma câmara fechada onde é colocado o material orgânico, em solução aquosa, onde este sofre decomposição, gerando o biogás que irá se acumular na parte superior da referida câmara.

Com base nos consumos médios de biogás das diversas utilidades que se deseja instalar em uma propriedade, podemos determinar o volume diário de biogás suficiente para suprir as necessidades da propriedade.

A nível de propriedade rural, para produção de biogás podem ser utilizados: esterco de gado, suínos, aves, cavalos; restos de culturas, palhas, capins, bagaços; casca de arroz; cama de animais; esgotos residenciais; restos de alimentos; vinhoto; fezes humanas; restos de alimentos; resíduos de produtos animais.

Uma estimativa de dejetos animais bem como o rendimento em gás por dia, é representada abaixo.

Fonte animal	disponibilidade por dia (Kg)	gás por Kg de dejetos	gás p/ dia m <sup>3</sup>
--------------	------------------------------	-----------------------	---------------------------

fonte animal	disponibilidade por dia (Kg)	gás por Kg de dejetos	gás p/ animal por dia ( $m^3$ )
bovinos	10	0,0371	0,3679
suínos	2,25	0,0636	0,1782
galinha	0,18	0,0050	0,0113
Humano	0,40	0,070	0,0283

Outra fonte de biogás é o aguapé, com uma tonelada dessa planta podemos obter  $30 m^3$  de gás.

## 6. TIPOS DE BIODIGESTORES

Existe uma grande variedade de tipos de biodigestores. Quanto ao fornecimento do biogás, podemos classificá-los em contínuos e descontínuos.

Contínuos são aqueles que, quando adequadamente operados, prorcionam permanente fornecimento de biogás. Preenchendo estas condições podemos destacar os biodigestores tipo indiano e chinês.

Biodigestores descontínuos são aqueles em que o fornecimento de biogás ocorre durante determinado período, sendo interrompido para a substituição do material digerido e introdução de novo material a digerir. Como exemplo podemos citar o biodigestor tipo batelada.

Com algumas mudanças nos modelos tradicionais citados, em virtude de características locais, vários modelos surgiram recebendo nomes dos países onde passaram a ser difundidos. Assim :

temos biodigestores, tailandeses, paquistaneses, canadenses, etc.

a) BIODIGESTOR TIPO INDIANO

O biodigestor tipo indiano é composto por uma câmara de alvenaria, também denominada câmara de digestão, geralmente construída abaixo do nível do solo, procurando diminuir os efeitos da variação de temperatura, e por uma cônica móvel coloca em sua parte superior, constituída de material rígido impermeável que funciona como depósito do biogás produzido.

Este tipo de biodigestor é utilizado quando existe a necessidade de fornecimento contínuo de biogás e Biofertilizante.

É um equipamento simples de ser construído e praticamente não exige manutenção, a não ser limpeza periódica. O gasômetro pode ser construído com chapa de aço ou fibra de vidro, sendo que esta tem a vantagem de não sofrer ação de agentes corrosivos, mas por ser mais leve do que o aço necessita de pesos adicionais para aumentar a pressão do biogás. Existem, também, cônicas confeccionadas em lona plástica flexível, dotadas de contra-pesos presos na aba inferior, dimensionadas de modo a assegurar a pressão de serviço do gás. Por suas características de resistência à corrosão e à tração, é dotada de lona plástica fabricada em PVC, com reforços internos em filamentos sintéticos, impermeável ao gás. É de forma cilíndrica de modo a serem respeitadas as linhas de maior tração e a economia de material. Quando dobrada, a cônica ocupa pouco espaço, sendo facilmente estocada e transportada. Argolas em ferro-cromado são presas na borda inferior da cônica para segurar pedaços de trilhos ferroviários, que fornecem a pressão de uso do biogás. Esta cônica é adotada quando os custos de obtenção das cônicas tradicionais são muito elevados.

A alimentação deste biodigestor deve ser diária e, preferencialmente constituidas de elementos de fácil digestão como estercos de qualquer espécie, dissolvido em partes iguais de água.

#### b) BIODIGESTOR CHINÊS

O biodigestor chinês difere do indiano por não possuir elementos móveis, ou seja, a câmara de digestão e o gasômetro formam uma única peça. É construído abaixo do solo e pode ser de alvenaria ou concreto.

Pelo fato de trabalhar com pressões elevadas no seu interior, na construção deste modelo deve-se tomar cuidado com trincos na alvenaria, procurando diminuir o escape de gás.

Sua construção é indicada para instalações de grande porte, pois parcela do gás formado na câmara de descarga é liberado para atmosfera, reduzindo-se parcialmente a pressão interna do gás.

#### c) BIODIGESTOR DE PLÁSTICO

Constituem-se essencialmente de um balão plástico com dispositivos de entrada e de saída do material a ser digerido, podendo funcionar como contínuos ou descontínuos. Podem ser instalados tanto em terra como submerso em água.

Esses biodigestores são de pequeno volume de gás e, conforme as necessidades, podem ser associados de modo a se obter o volume total de biogás desejado, e podem digerir qualquer das substâncias citadas anteriormente como produtoras de biogás.

Os biodigestores plásticos são de baixo custo, não exigindo preparo do terreno para sua instalação, além de poderem ser transportados de um lugar para outro facilmente.

d) BIODIGESTOR TIPO BATELADA

São biodigestores de alimentação e produção descontínuos. São utilizadas matérias primas de diversas qualidades, tais como: material fibroso, restos de colheita, lixo orgânico, esterços diversos, inclusive papeis e jornais velhos.

Esses elementos são misturados e colocados em solução aquosa em recipientes hermeticamente fechados que possuem só uma saída para o Biogás. Assim, o gás produzido pode ser acumulado no próprio biodigestor em gasômetro deparado.

Uma vez encerrada a digestão e consumido o biogás, o biodigestor pode ser aberto para retirada dos resíduos. Após a limpeza do digestor o mesmo pode ser carregado novamente iniciando nova produção de gás.

Dependendo da quantidade e da qualidade dos materiais que sofrerão digestão, a produção de gás pode durar de três a seis meses.

7. USO E NECESSIDADES DE BIOGÁS

Na utilização do biogás como combustível, deve-se esta-

elecer entre este e o ar uma relação que permita a combustão integral. Quando esta se dá, a chama é forte, de coloração azul clara, e o gás emite um assobio. Caso a chama tremer, existe insuficiência de ar e combustão incompleta. Se for curta e amarela indica biogás insuficiente e ar excessivo.

Com base nos consumos médios de biogás das diversas utilidades que se deseja instalar em uma propriedade, podemos determinar o volume diário de biogás suficiente para suprir as necessidades da propriedade.

Tabela abaixo indica a quantidade de biogás necessária para atender aos diversos usos:

Uso	Fontes de consumo	Consumo
cocção	queimador com 5cm	0,32m <sup>3</sup> /hora
"	" " 10cm	0,46m <sup>3</sup> /hora
"	" " 15cm	0,63m <sup>3</sup> /hora
"	por pessoa	0,33 a 0,42m <sup>3</sup> /h
aquecimento	a 100°C	0,074m <sup>3</sup> /h
iluminação	lâmpada de camisinha	0,07 a 0,08m <sup>3</sup> /h
refrigeração	porte médio	2,20m <sup>3</sup> /dia
"	queimador	0,0012m <sup>3</sup> /litro de vol. do ref. /h
chuveiro	por banho	0,80m <sup>3</sup>
potência	motor de combustão	0,45m <sup>3</sup> /Hp/hora
eleticidade	1Kwh	0,62m <sup>3</sup> /h

## 8. QUANTIDADE DE MATERIA PRIMA (BIOMASSA)

A quantidade de biomassa necessária para produzir o biogás para atender as necessidades previstas se acha no quadro abaixo.

Quantidade de Biomassa	produção de biogás
10 Kg de esterco fresco de bovino	0,400 m <sup>3</sup>
1 Kg de esterco seco de galinha	0,430 m <sup>3</sup>
1 Kg de esterco seco de suíno	0,350 m <sup>3</sup>
1 Kg de matéria seca de resíduo vegetal	0,400 m <sup>3</sup>
1 Kg de resíduos sólidos de frigoríficos	0,070 m <sup>3</sup>
1 Kg de lixo	0,050 m <sup>3</sup>

## 9. CUIDADOS MÍNIMOS DE OPERAÇÃO (SEGURANÇA)

A manipulação do biogás exige uma série de precauções tendo em vista tratar-se de um gás explosivo e facilmente inflável.

De uma maneira geral estes são os cuidados a serem tomados na manipulação do biogás:

- a) Evitar a mistura do biogás com ar, pois se ela ocorrer e chegar a proporção de uma parte de metano para 4 de ar haverá explosão. Até um limite de mistura 1 / 14 de metano-ar pode ocorrer explosão se verificar qualquer chama ou faísca.
- b) Ao iniciar a operação do biodigestor, as canalizações devem ser testadas previamente como prevenção contra vazamento de gás.
- c) A utilização de equipamento com biogás não deve ser realizada em ambiente fechado.
- d) Além do registro geral da saída do gasômetro, cada equipamento deve ter seu registro próprio que deve ser aberto só na ocasião da utilização.
- e) Deve sempre ser mantida uma pressão positiva do gasômetro para os pontos de consumo. Essa pressão pode ser controlada através de um simples medidor de pressão de coluna d'água. A partir dessa medida pode-se calcular a quantidade aproximada de gás acumulada e zelar pela segurança da estrutura do biodigestor.

No caso de pressão negativa, ou se o ar estiver sendo aspirado para o interior do bocal, este não deve ser aceso, pois a chama pode ser sugada para o interior do biodigestor e provocar explosão. Deve-se então dar uma carga de mistura para equilibrar a pressão e esperar que a pressão positiva se restabeleça. Por isto, na retirada do efluente, é preciso que se tenha o cuidado de não fazê-lo depressa demais, dado a possibilidade de que se forme vácuo no interior o que danificaria as paredes do biodigestor.

O ideal é retirar um pouco de efluente no momento em que se fizer a carga diária.

f) Em hipótese alguma, colocar no biodigestor fertilizantes fosfatados. Sob condições de ausência de ar, este material pode produzir fosfina, extremamente tóxico, cujo contato será fatal.

g) Na remoção dos resíduos do fundo do biodigestor, não se deve tocar diretamente no material com as mãos ou os pés, mas sim usar luvas e botas de borracha.

#### 10. CONDENSAÇÃO

No interior da tubulação que conduz o biogás para a fonte de consumo nota-se a condensação de vapor d'água. Essa água pode impedir a passagem do gás. Para evitar esse inconveniente basta acoplar na saída da campânula um garrafão por onde deverá passar o gás, assim, o vapor se condensa e a água se deposita no fundo do garrafão.

#### 11. ESCOLHA DO BIODIGESTOR

A escolha correta do biodigestor depende dos seguintes fatores:

- a) Disponibilidade do material orgânico para digerir.
- b) Periodicidade no fornecimento do material.
- c) Recursos financeiros

- c) Natureza dos terrenos onde será instalado.
- e) Situação climática da região.
- f) Disponibilidade dos materiais de construção.
- g) Quantidade de gás necessário.
- h) Necessidade de fornecimento contínuo de gás.

## 12. BIOFERTILIZANTE

Além da produção do biogás o Biodigestor nos proporciona a obtenção do adubo orgânico denominado biofertilizante. Na sua composição encontramos:

Nitrogênio 1,5 a 2,0%

Fósforo 1,0 a 1,5%

Potássio 0,5 a 1,0%

O adubo ou biofertilizante, resultante da fermentação, é 13% mais efetivo do que os compostos orgânicos empregados nas culturas. Em K<sub>2</sub>O total, o biofertilizante contém 0,70% contra 0,4% do esterco.

Dependendo do biofertilizante que o produz, o biofertilizante pode ser obtido de forma contínua ou periódica, assim, no biodigestor indiano o fertilizante é obtido diariamente e no bate-

lada o fertilizante só é conseguido após a digestão completa da matéria orgânica em seu interior.

O biofertilizante é um produto isento de germes patogênicos, não tem cheiro e pode ser lançado ao solo da forma com que sai do biodigestor, ou seja, no estado líquido. Podemos, também, decantar o líquido solvente da digestão e deixar secar obtendo-se assim o fertilizante sólido que pode ser armazenado para posterior aplicação. É importante elemento na recomposição da fertilidade do solo, porém, a sua aplicação não deve ser feita indiscriminadamente sem um prévio estudo da natureza dos mesmos.

O biofertilizante quando seco é um produto rico em proteínas e pode ser misturado em pequenas proporções, à ração de gado e à alimentação de peixes.

### 13. CÁLCULO DO BIODIGESTOR

É apresentado a seguir o procedimento de cálculo do biodigestor modelo indiano, pois, como já dito anteriormente, o desenvolvimento deste modelo visava principalmente a produção de energia.

#### a) Dimensionamento da câmara de digestão

Denominamos K a relação entre o volume do biodigestor ( $V_b$ ) e o volume do biogás ( $V_g$ ) necessário para consumo diário.

$$K = \frac{V_b}{V_g}$$

O fator K depende da temperatura, do tipo de material a ser digerido e da concentração da mistura (dejetos + água). Ainda não é conhecido o valor do fator K para todos materiais biodigeríveis, entretanto no caso de dejetos bovinos K= 2,5. Para os outros materiais o fator K oscila entre 0,7 e 4. O fator K é função da temperatura uma vez que, quanto maior ela for maior será a eficiência do processo, e portanto maior economia, porém dentro de determinados limites. Com relação à concentração, quanto menor menor o valor desta menor a produção de biogás.

Outro aspecto que deve ser considerado é a relação C/N. Essa relação não pode ser muito pequena, pois, durante o processo de fermentação existe a produção de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  provocando o consumo de carbono e consequentemente, aumentando N. O excesso de produtos nitrogenados na mistura pode paralizar a fermentação.

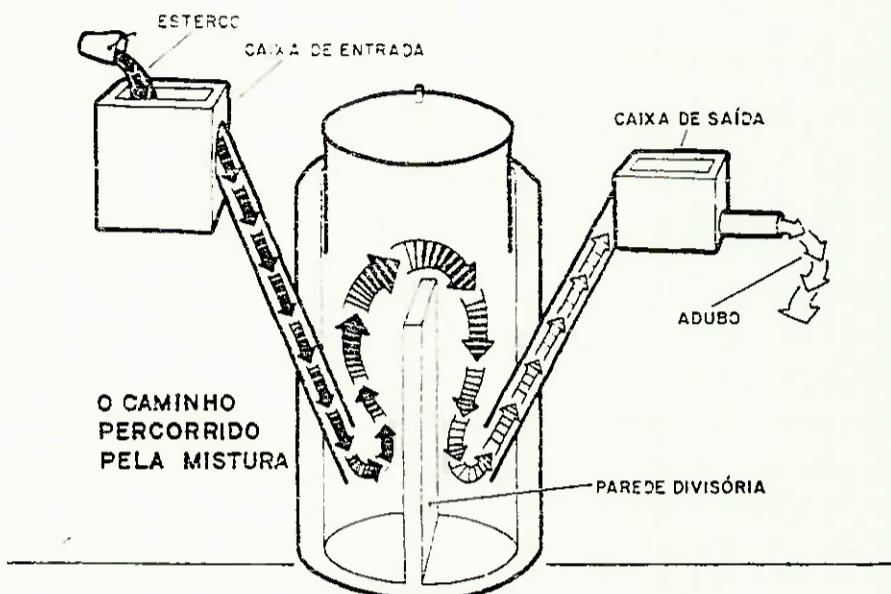
A relação entre o diâmetro ( $D_i$ ) e a altura (H) do biodigestor deverá estar entre 0,66 e 1,00, pois, devido à pesquisas realizadas, é nesse intervalo que se observa maior eficiência na produção de biogás.

Para situações onde o lençol freático é próximo à superfície, deve-se diminuir o valor de H.

$$\text{Portanto, } V_b = K(V_g) = \frac{D_i^2}{4} H$$

O nível da mistura biodigerível depende da altura do digestor (câmara) e da campânula. O respaldo da parede central é utilizado como apoio da campânula. O objetivo da parede central (divisória) é fazer com que o material que entra fique o maior tempo possível no biodigestor e não vá direto para a saída. Assim,

O material que entra, tem que passar por cima da parede para despolarizar e descer e poder sair pela tubulação de saída.



A altura (a) do fundo da caixa de abastecimento deverá, estar pelo menos a 50 cm do nível da mistura. A boca de entrada do tubo de abastecimento deve ficar de 2 a 3 cm acima do nível do fundo da caixa de abastecimento, para que impurezas mais pesadas se depositem no fundo da caixa de abastecimento e não entrem no biodigestor.

O volume de abastecimento diário é dado através da regra

ção  $V = \frac{V_b}{PR}$ , onde  $V$  corresponde ao volume de dejetos bovinos mais água na proporção 1 : 1, e  $PR$  é o período de retenção. Portanto  $V/2$  é quantidade de dejetos puros por dia para atender às necessidades diárias de biogás.  $V$  também representa o volume de biofertilizante que é descarregado diariamente e simultaneamente ao abastecimento.

A diferença ( $d$ ) entre o diâmetro da parede superior  $D_s$  e o diâmetro da campânula ( $D_c$ ) deverá ser de aproximadamente 10 cm, o que dá condições de movimento de sobe e desce à campânula, de acordo com o gasto e produção do biogás.

A folga ( $f$ ) apresentada pela diferença entre  $D_c$  e  $D_i$  deve ser igual a 20 cm, para evitar a saída de bolhas de biogás.

A diferença de nível ( $e$ ) entre o fundo do biodigestor e a parte inferior dos tubos de abastecimento ou de descarga, é fixa e deve ser de 30 cm, o que proporciona melhor agitação da mistura biodigerível.

O diâmetro dos tubos de abastecimento e descarga deve ter um valor mínimo de 4 polegadas.

A figura do biodigestor modelo indiano contendo todas as dimensões descritas acima, está representada em folha anexa.

#### b) Dimensionamento do gasômetro (campânula).

O volume da campânula é obtido da seguinte relação-

$$V_c = V_1 + V_2$$

onde  $V_1$  é o volume existente entre a tampa do gasômetro e o nível da mistura do biodigestor, ou seja, volume da campânula imersa na mistura. Chamando-se de  $h_1$  a altura de imersão, temos:

$$V_1 = \frac{\pi \frac{D^2}{4} \cdot h_1}{C},$$

também chamado de volume ocioso, porque quando a campânula está vazia, o gás residual não possui pressão, portanto não pode ser usado.

$V_2$  é o volume útil,

$$V_2 = \frac{\pi \frac{D^2}{4} \cdot h_2}{C},$$

que é obtido depois da elaboração do programa de uso do biogás durante o dia típico de operação, além da análise dos picos de volume máximo e mínimo.

Do peso da campânula ( $P_C$ ) resulta a pressão do biogás.

$$P_C = p \frac{\pi \frac{D^2}{4}}{C},$$

onde  $p$  é a pressão desejada em  $\text{Kgf/cm}^2$ . Pode-se aumentar a pressão acrescentando-se um lastro  $L$ . Portanto  $L$  é igual ao peso total (peso da campânula + lastro) menos peso real da campânula.

Uma maneira simples e prática para determinar para determinar para determinar a pressão do biogás, contido na campânula, é a improvisação de um manômetro, representado por tubo em U derivado do próprio tubo de saída de gás com duas réguas (uma em cada parte do U). No U coloca-se água na pressão normal, e ao abrir-se o registro do gás a coluna sobe de um lado. A diferença de leitura das duas réguas'

dá a pressão em altura de coluna d'água por centímetro quadrado.

#### 14. EXEMPLO PRÁTICO DE DETERMINAÇÃO DE UM BIODIGESTOR

Este capítulo apresenta o modo de determinação das dimensões de um biodigestor e seu gasômetro para uma propriedade rural localizada no sul de Minas Gerais.

Distância de 1 Km da rede de distribuição de energia elétrica, fazendo com que o custo de investimento com energização pelos métodos convencionais desencorajasse qualquer iniciativa nesse sentido, além da disponibilidade de material fermentecível, foram os principais fatores que indicaram o uso do biogás como solução satisfatória e econômico do problema de energização da propriedade.

Devido a necessidade de fornecimento contínuo de gás, condições topográficas do terreno, disponibilidade de material orgânico, e situação climática da região, decidiu-se pela construção de um Biodigestor modelo indiano, pois além de possuir boas características de produtor de Biogás, proporciona satisfatória transformação do material introduzido em biofertilizante. Suas características, também, proporcionam boa agitação da mistura, quando o mesmo é abastecido de material orgânico, resultando numa maior produção de gás.

Uma propriedade rural requer iluminação nas casas, estâbulos e cocheiras, assim como energia para acionar as máquinas de

preparação de forragens e para bombeamento d'água. Para suprir com energia na forma mais adequada à demanda de cada ponto de consumo, foi diversificado o uso do biogás. Tal diversificação exigiu a quantificação, tanto da demanda, quanto do consumo de cada equipamento.

A propriedade em questão possui o seguinte consumo diário ( $V_g$ ), representado na tabela abaixo:

instrumento	consumo específico
moto-gerador.....	0,450 m <sup>3</sup> /h/Hp.....18 m <sup>3</sup>
cozimento.....	0,8 m <sup>3</sup> /pessoa.....4,8 m <sup>3</sup>
iluminação.....	0,080 m <sup>3</sup> /h.....1,92 m <sup>3</sup>
refrigeração.....	0,05 m <sup>3</sup> /h.....1,2 m <sup>3</sup>
banho.....	0,74 m <sup>3</sup> .....3,7 m <sup>3</sup>
	<hr/>
	29,62 m <sup>3</sup>

Portanto  $V_g = 30 \text{ m}^3$ .

a) Volume do biodigestor  $V_b = K V_g = 2,5 \cdot 30$

$$V_b = 75 \text{ m}^3$$

A relação  $D_i/H$  é obtida inicialmente por tentativas, tendo-se o cuidado de manter esse valor entre 0,66 - 1,0.

Fazendo-se  $H = 6 \text{ m}$  e  $D_i = 4 \text{ m}$ , temos:

$$V_b = \frac{\pi D_i^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \cdot (4,0)^2}{4} = 75,36 \text{ m}^3,$$

com erro inferior a 1%, o que é admissível.  $\frac{D_i}{H} = \frac{4}{6} = 0,66$

b) Determinação do gasômetro

Para a determinação do volume da campânula devemos fazer um programa para uso do biogás durante o dia, uma vez que o consumo de biogás não ocorre ao mesmo tempo para os diferentes motores e equipamentos. Portanto, foram estimados o momento e duração provável de uso de cada instrumento ao longo de um dia típico de operação.

I- Período das 6 às 7 horas, temos 1/3 do cozimento total, funcionamento do motor gerador e 3 lâmpadas acesas.

cozimento .....	1,6 m <sup>3</sup>
moto-gerador.....	4,5 m <sup>3</sup>
iluminação.....	<u>0,24 m<sup>3</sup></u>
	total 6,34 m <sup>3</sup>

portanto às 6 horas deveremos ter armazenado:

$$\frac{6,34 - 30}{24 \text{ horas}} \cdot 1 \text{ hora} = 5,09 \text{ m}^3 \text{ de biogás}$$

II- Período das 11 às 12 horas, temos 1/3 de cozimento total e funcionamento do motor gerador:

cozimento.....	1,6 m <sup>3</sup>
moto gerador.....	<u>4,5 m<sup>3</sup></u>
	total 6,1 m <sup>3</sup>

portanto às 11 horas deveremos ter armazenado:

$$\frac{6,1 - 30}{24 \text{ horas}} \cdot 1 \text{ hora} = 4,85 \text{ m}^3 \text{ de biogás}$$

III- Período das 14 às 16 horas, temos o funcionamento do moto-ge

rador:

moto-gerador..... $9 \text{ m}^3$

portanto, às 14 horas deveremos ter armazenado:

$$9 - \frac{30}{24} \cdot 2 \text{ horas} = 6,5 \text{ m}^3 \text{ de biogás}$$

IV- Período das 13 às 22 horas temos 1/3 do cozimento, iluminação e banhos

cozimento..... $1,6 \text{ m}^3$

iluminação..... $1,92 \text{ m}^3$

banhos..... $3,7 \text{ m}^3$

total  $7,22 \text{ m}^3$

portanto, às 18 horas devemos ter armazenado:

$$7,22 - \frac{30}{24} \cdot 4 \text{ horas} = 2,22 \text{ m}^3 \text{ de biogás}$$

V- Período das 22 horas às 6 horas não temos consumo, portanto, todo gás produzido será armazenado.

$$\frac{30}{24} \cdot 8 \text{ horas} = 10 \text{ m}^3 \text{ de biogás}$$

Comparando-se I, II, III, IV e V podemos considerar  $10 \text{ m}^3$

Diâmetro da campânula:

$$D_c = D_i + 0,10m = 4,0 + 0,10$$

$$D_c = 4,10 \text{ m}$$

A altura útil ( $h_2$ ) da campânula é obtida da relação:

$$V_2 = \frac{\pi (D_c)^2}{4} \cdot h_2$$

$$h_2 = \frac{4 V_2}{\pi D_c^2} = \frac{4 \cdot 10}{3,14 \cdot 4,1^2} = 0,76 \text{ m}$$

A altura ociosa  $h_1$  representa, também, o valor da pressão máxima desejada para o biogás expressa em metros de coluna d'água.

$$h_1 = 0,15 \text{ m}$$

Peso da campânula:

$$P_c = \frac{\pi p D_c^2}{4}, \text{ onde } p = 15 \text{ cm de coluna d'água.}$$

$$P_c = \frac{3,14 \cdot 0,15 \cdot 4,1^2}{4} = 1979 \text{ Kg}$$

Para cada 10 cm de coluna d'água temos necessidade de  $100 \text{ Kg/m}^2$  de área da base do gasômetro. Caso a campânula pesar menos do que o valor obtido acima, precisaremos adicionar a diferença de peso com lastros.

Altura da parede divisória:

$$H - h_2 = 6,0 - 0,76 = 5,24 \text{ m}$$

Altura das extremidades inferiores dos tubos em relação ao fundo do biodigestor :  $e = 30,0 \text{ cm}$

## 15. MATERIAIS E ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO BIODIGESTOR

a) Biogestor

Material de alvenaria:

- Tijolos.
- Cimento e areia na massa para assentamento e revestimento.
- Cimento, areia e brita no concreto.

As quantidades desses materiais podem ser obtidas através das dimensões do biogestor calculado.

Volume das paredes do biogestor

$$V_1 = \text{volume da parede inferior} = 2 \pi \frac{\text{diâmetro médio}}{2} \cdot \text{altura} \cdot \text{espessura}$$

$$V_2 = \text{volume da parede superior} = 2 \pi \frac{\text{diâmetro médio}}{2} \cdot \text{altura} \cdot \text{espessura}$$

$$V_3 = \text{volume da parede divisória} = \text{altura} \cdot \text{comprimento} \cdot \text{espessura}$$

$$V_4 = \text{volume das paredes da caixa de abastecimento}$$

$$V_5 = \text{volume das paredes da caixa de descarga}$$

$$VTP = V_1 \quad V_2 \quad V_3 \quad V_4 \quad V_5$$

$$\text{Quantidade de tijolos: } Q_t = \frac{VTP}{\text{volume de um tijolo mais massa}}$$

Quantidade de areia e cimento: Determina-se a quantidade de massa multiplicando o total de tijolos pelo volume de um tijolo sem massa e subtraindo-se do VTP.

b) Campânula

Aspectos construtivos, bem como os dispositivos e materiais que compõe a campânula do gasômetro, estão representados em figuras anexas.

16. CONCLUSÃO

Os resultados já obtidos por aqueles que utilizam o biogás como fonte de energia, evidenciam o Biometano como uma alternativa confiável para o meio rural.

Em toda propriedade que possuir disponibilidade de material vegetal ou resíduo animal em volume suficiente, será viável a sua energização com biogás, desde que esteja a uma distância superior a 2 Km da rede elétrica da distribuidora local, considerando o custo atual de instalação de uma linha de transmissão de eletricidade, além dos aumentos naturais previstos para os materiais elétricos.

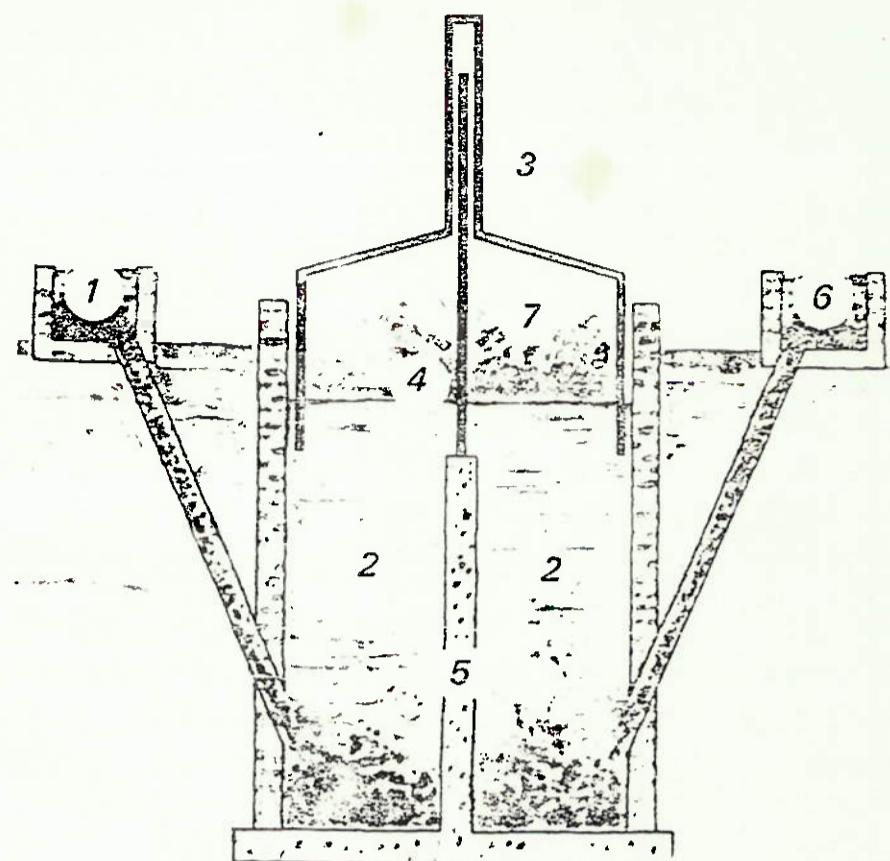
Com relação ao biodigestor, tem-se como definitivas as vantagens do biodigestor modelo indiano e do seu modelo híbrido com tanque de fermentação separado do gasômetro.

Energizar a área rural com fontes alternativas de energia é o caminho mais curto para a independência energética desse setor, o que pode ser feito com a fermentação anaeróbica dos resíduos agro-pastoris já normalmente disponíveis no campo.

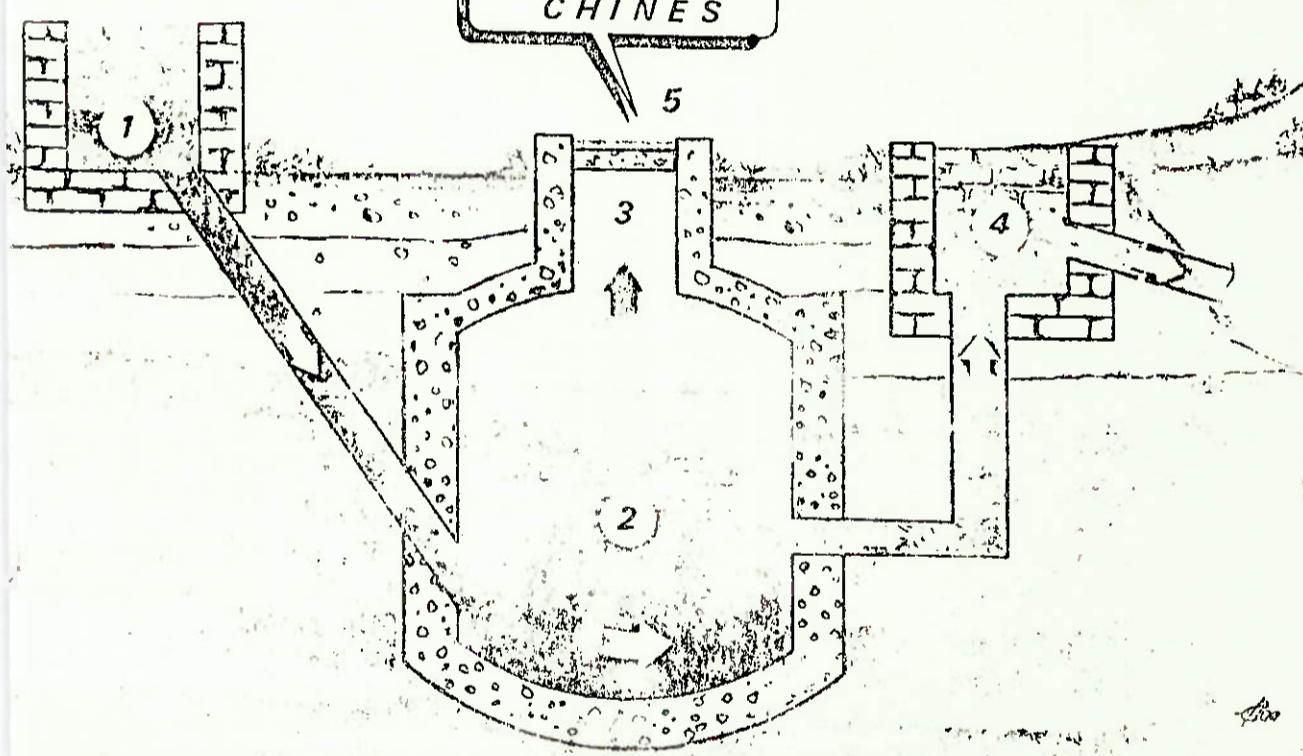
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

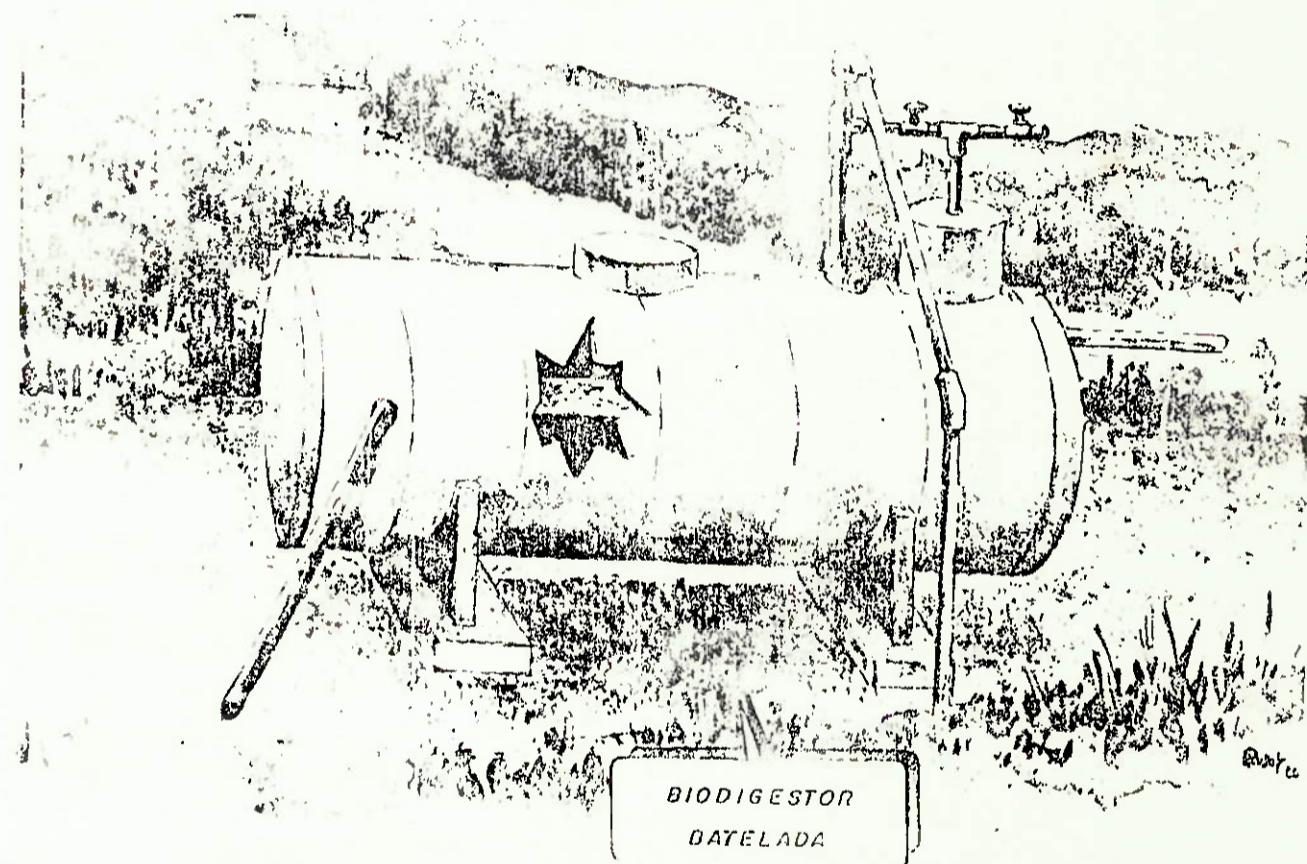
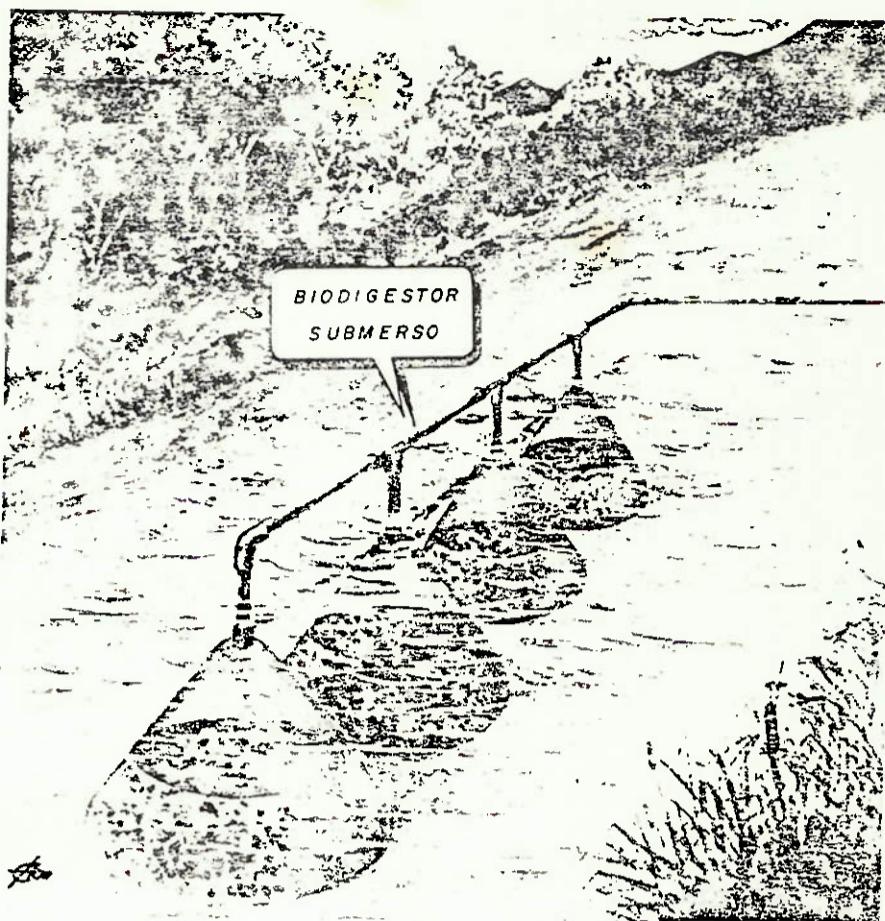
1. FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC.  
Manual para construção e operação de biodigestores.  
Belo Horizonte, 1981.
2. COMO CONSTRUIR SEU GERADOR DE BIOGÁS.  
Gabinete de planejamento e coordenação geral.  
Florianópolis, 1980
3. ENERGIZAÇÃO RURAL: UMA SOLUÇÃO COM O USO DO BIOGÁS.  
Coordenadoria de Energia.  
Recife, Março 1982

BIODIGESTOR  
INDIANO



BIODIGESTOR  
CHINÉS





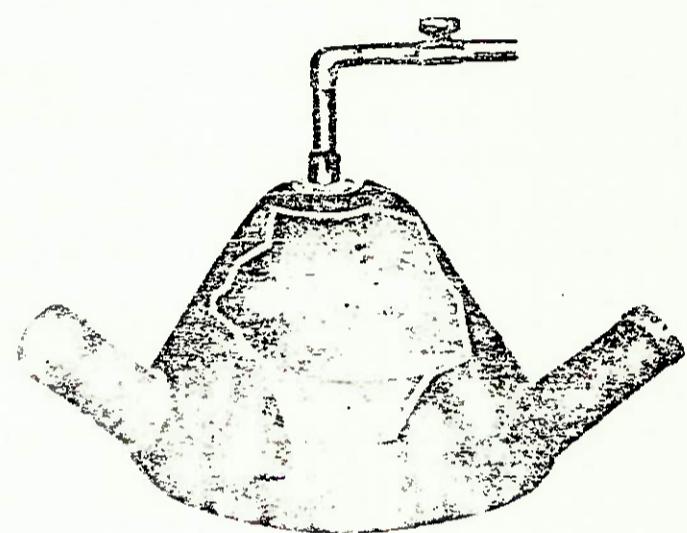
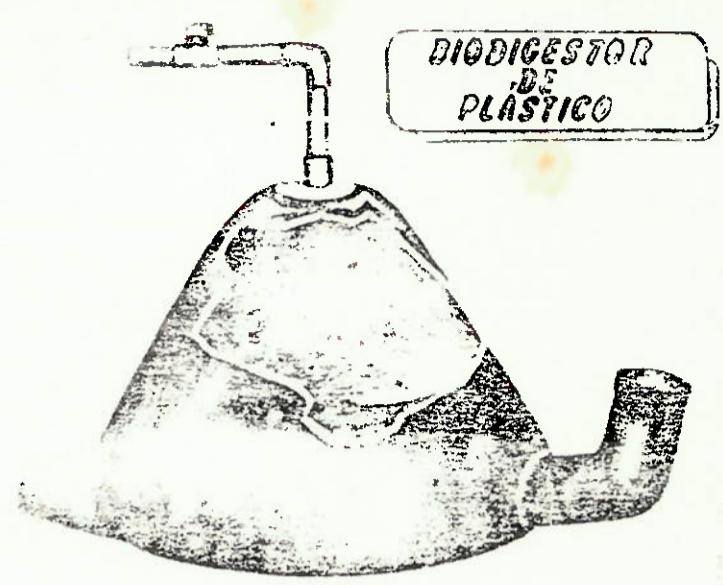
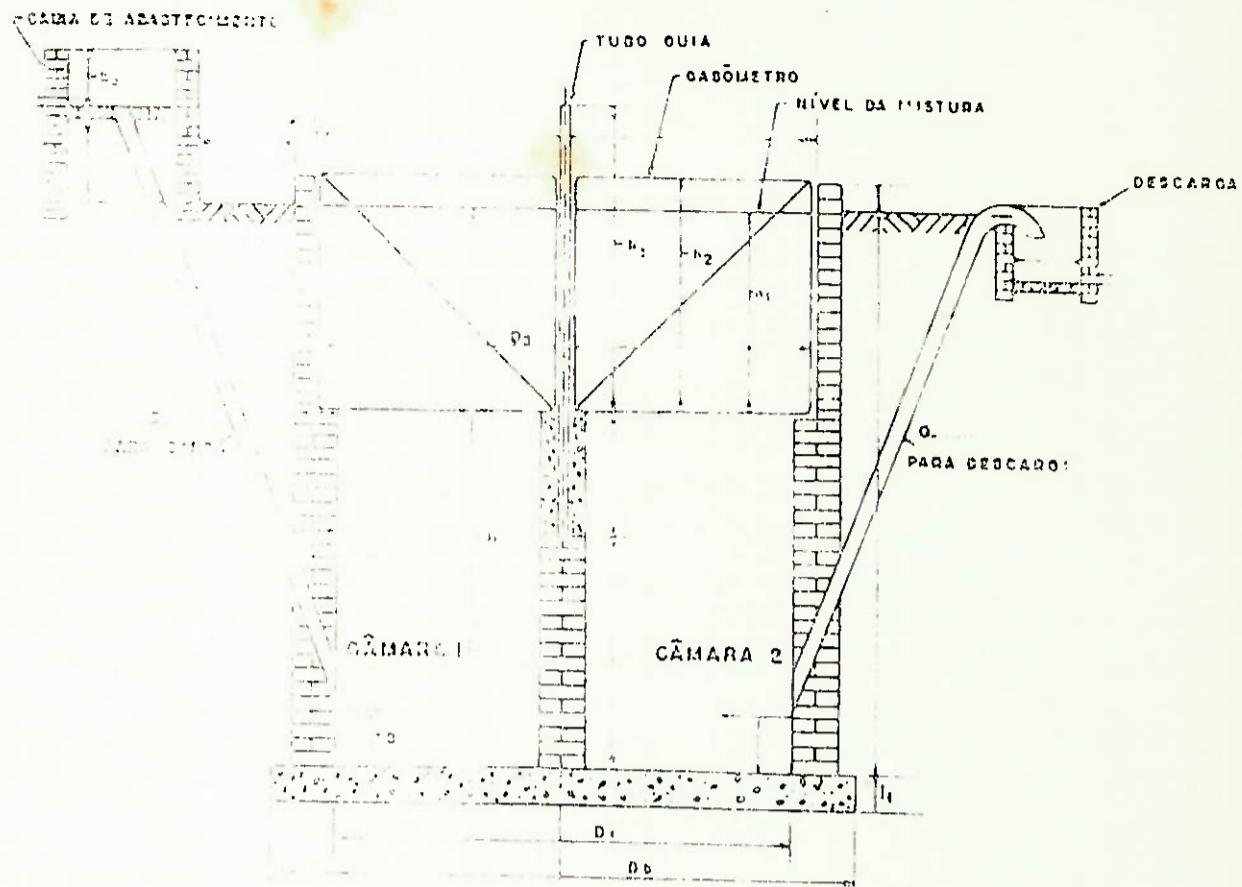
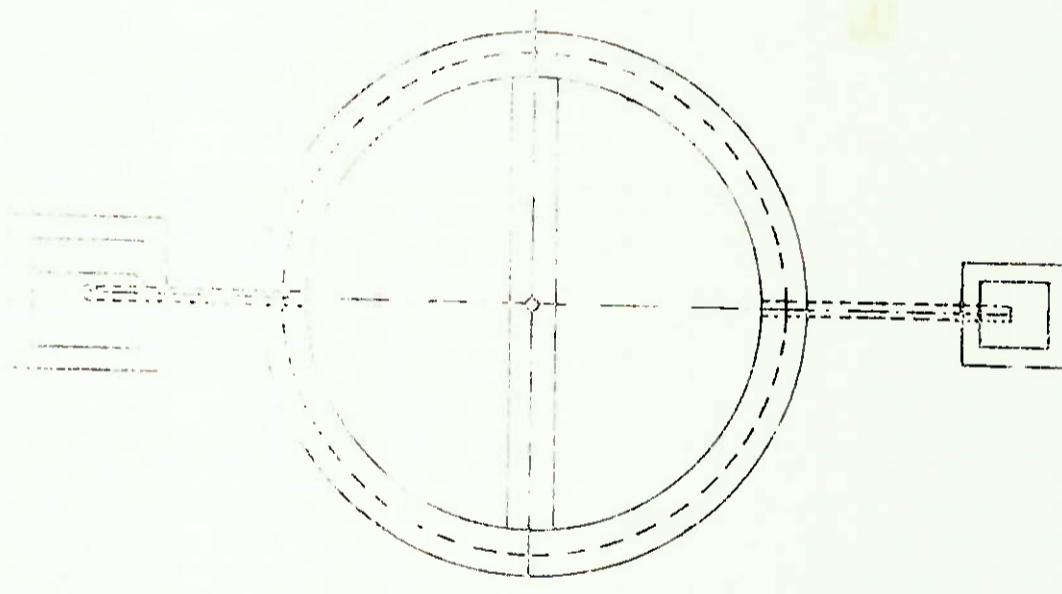


FIGURA 1 - PIODIGESTOR MODELO JABOTICABAL

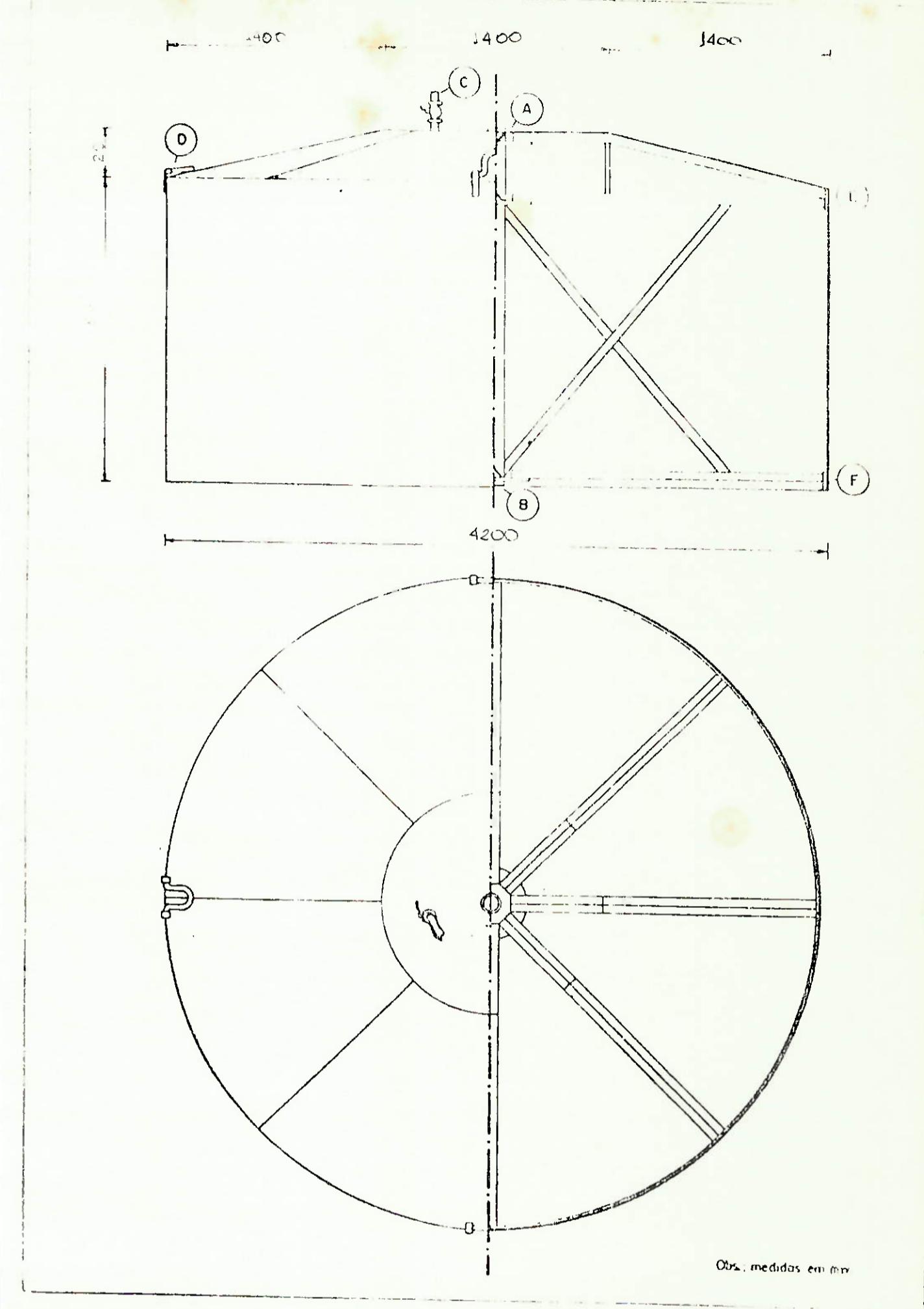


CORTE A-B

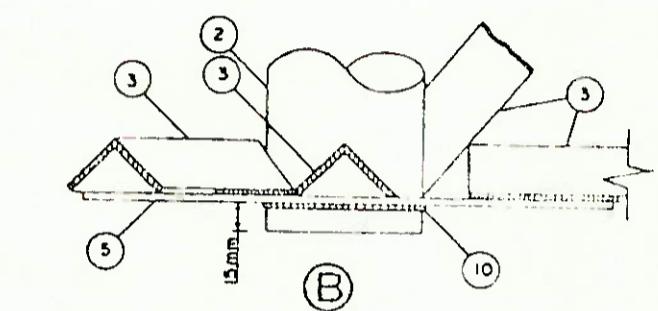
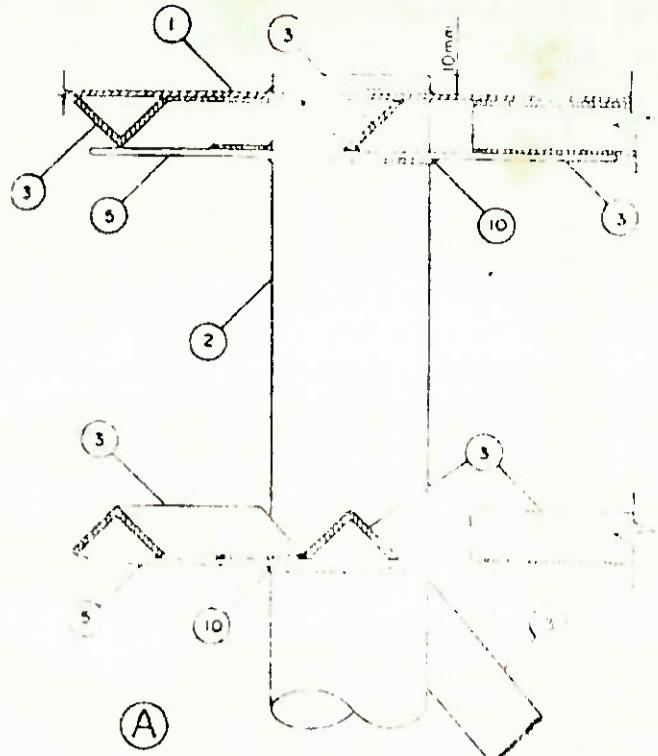


VISTA DE CIMA DO DIGESTOR SEM O GASÔMETRO

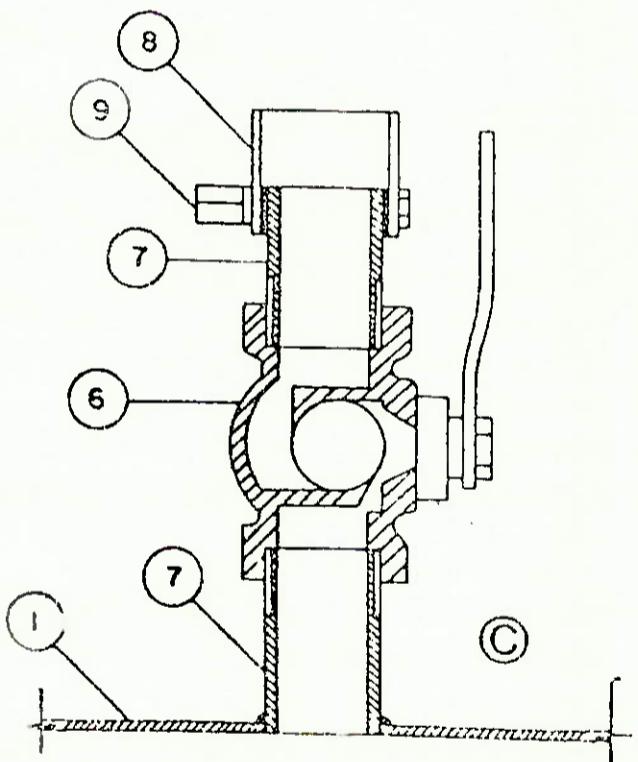
Projeto do gasômetro



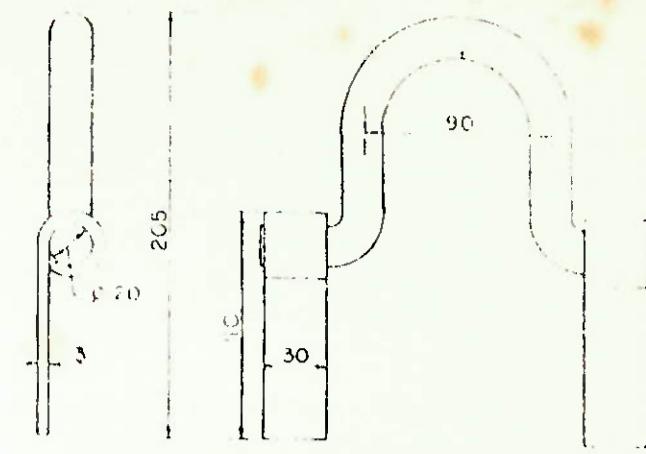
#### Fixação das cantoneira estruturais no tubo guia



## Válvula para gás

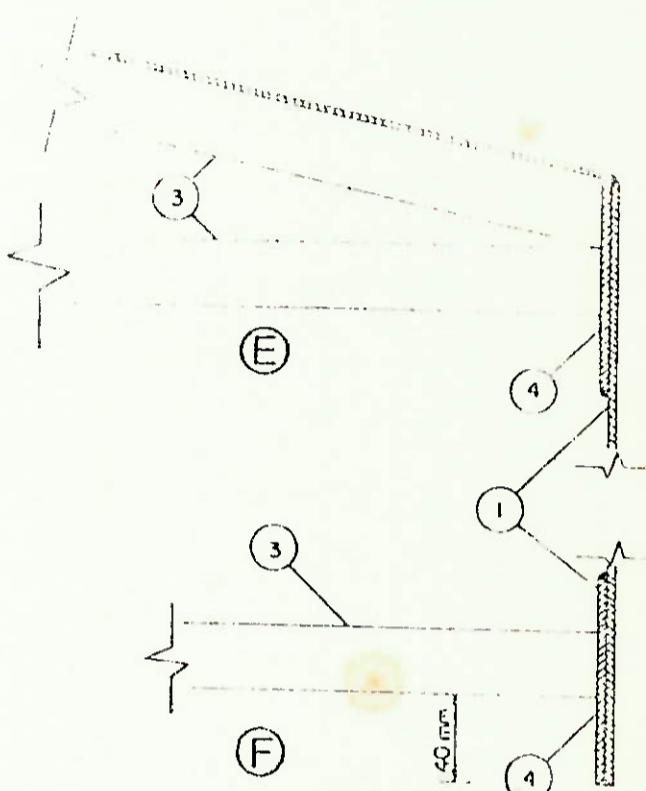


## Alça para manuseio



Obs. wie hieß er ein ehem.

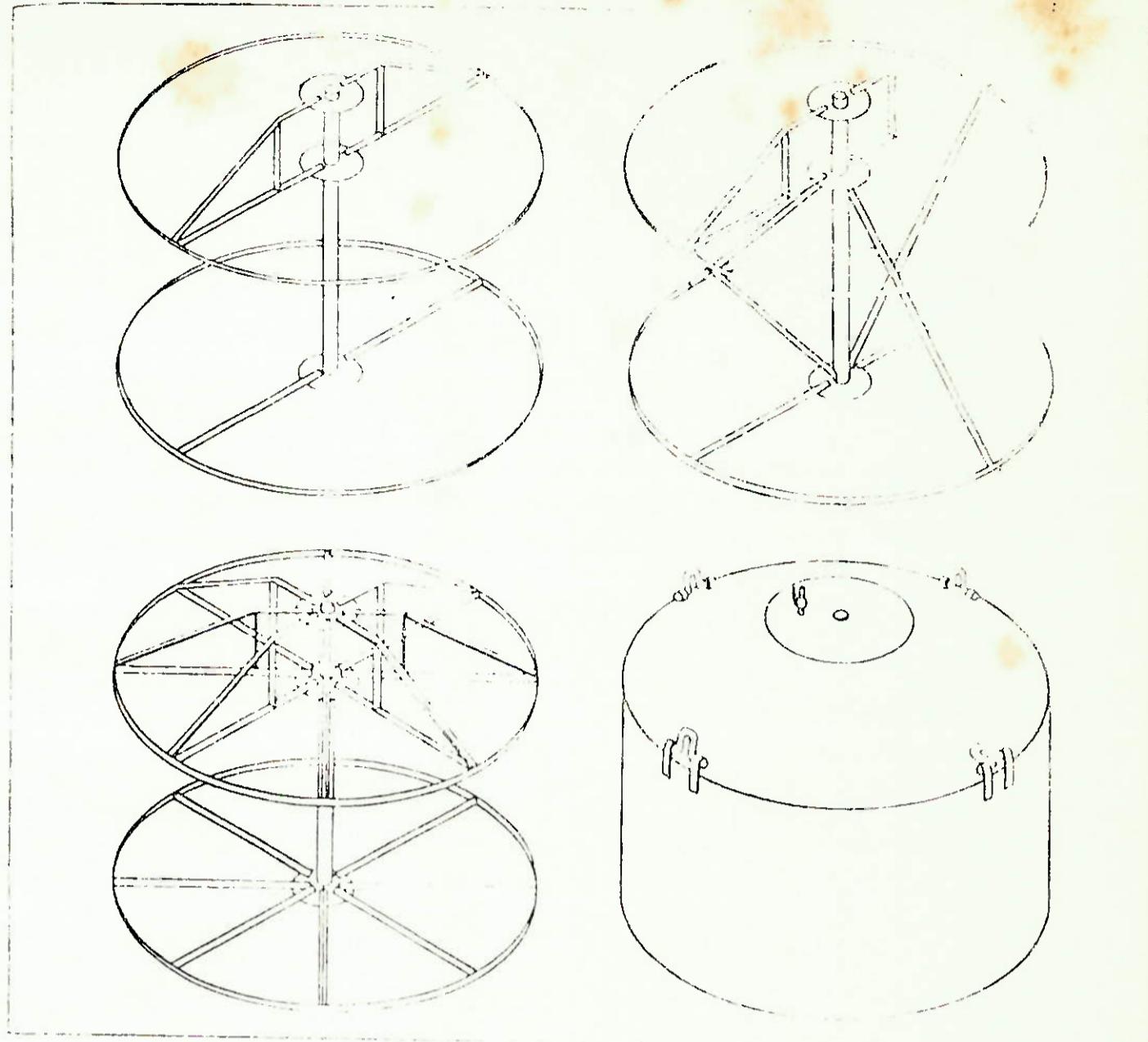
### Frigação da chapa metálica na estrutura



**Legenda dos detalhes (A a F)**

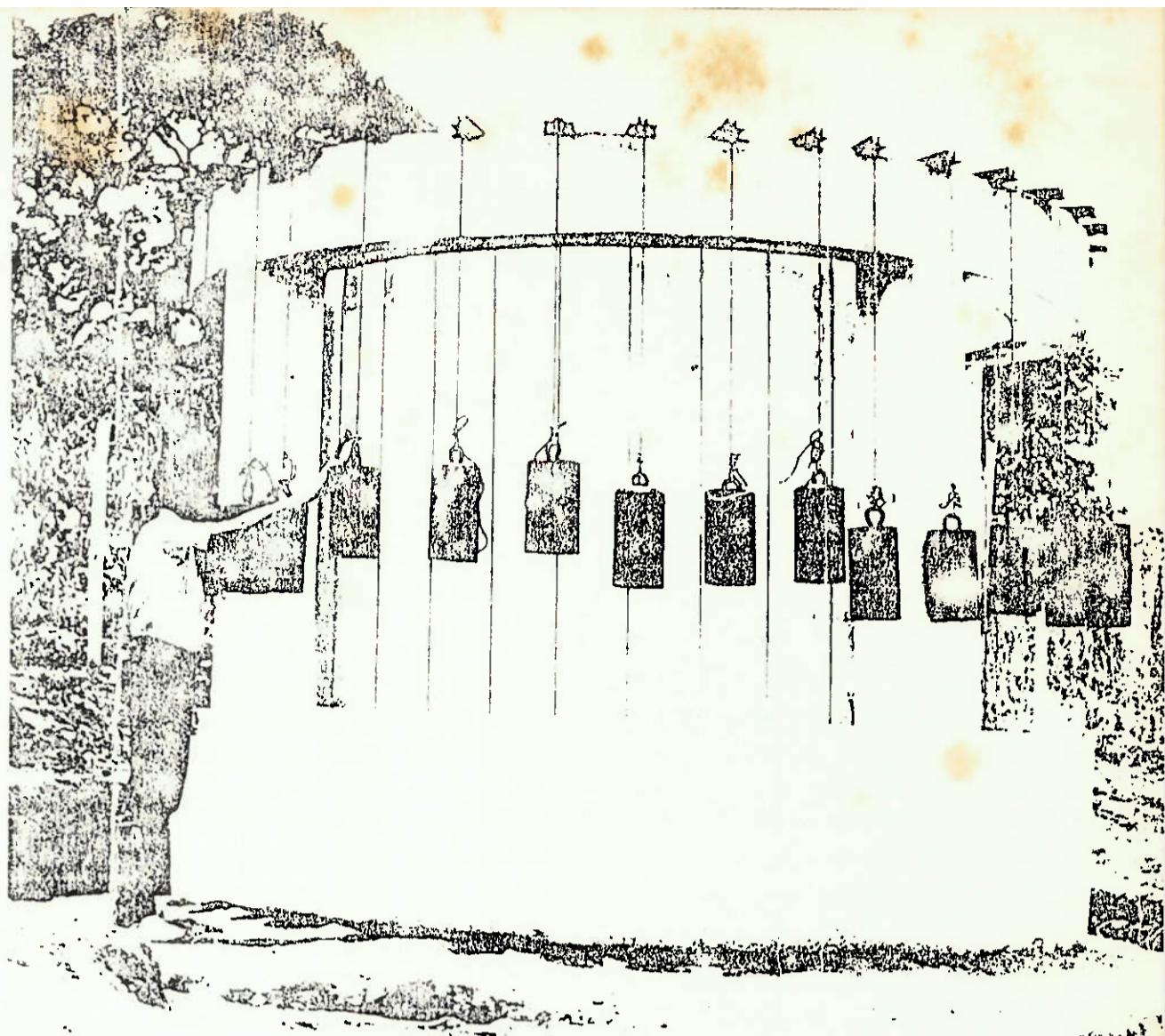
- 1 - Chapa de aço
  - 2 - Tubo de aço 3"φ
  - 3 - Cantoneira de abas iguais
  - 4 - Barra chata
  - 5 - Disco de chapa de aço (30cm de diâmetro - 4mm de espessura)
  - 6 - Válvula de esfera
  - 7 - Tubo de aço 1"φ
  - 8 - Tubo flexível
  - 9 - Braçadeira
  - 10 - Soldas

Montagem do gasômetro



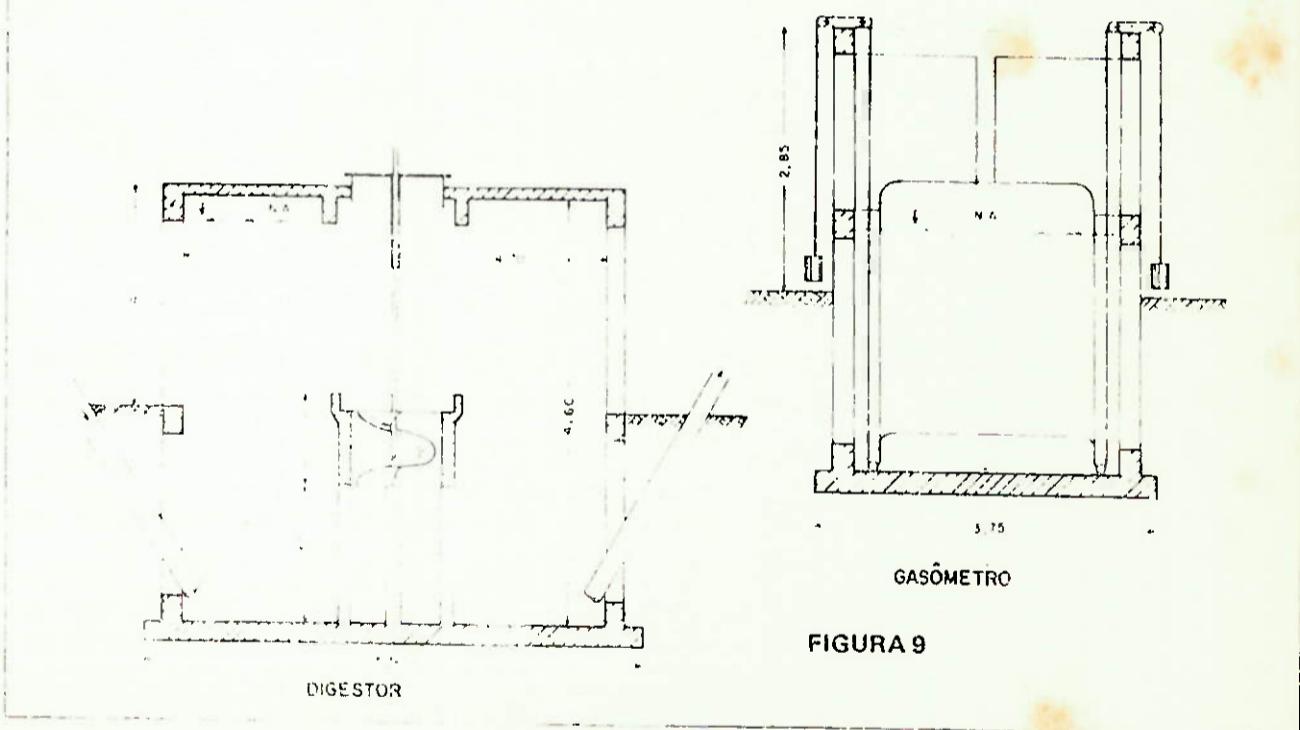
Relação de material para fabricação do gasômetro

Especificação	Quantidade
- Chapa de aço comum, espessura 4mm, 2x1m	11 unidades
- Tubo de aço comum, sem costura, conforme DIN 2440 diâmetro nominal: 3"	1,5m
- Tubo de aço comum, sem costura, conforme DIN 2440 diâmetro nominal: 1"	0,70m
- Cantoneira de abas iguais, de aço, 40x40x4mm	39m
- Barra chata, aço, 3,18mmx95,25mm	17m
- Válvula de esfera de aço inox ou PVC 1" Obs.: <u>Não usar válvula de bronze</u>	1 unidade
- Mangueira - diâmetro: 1"	Variável
- Braçadeira - para o tubo flexível	1 unidade
- Material para alças (detalhe D): Barra redonda - 20mm de diâmetro Chapa de aço - 3mm de espessura	40cm 20cmx40cm



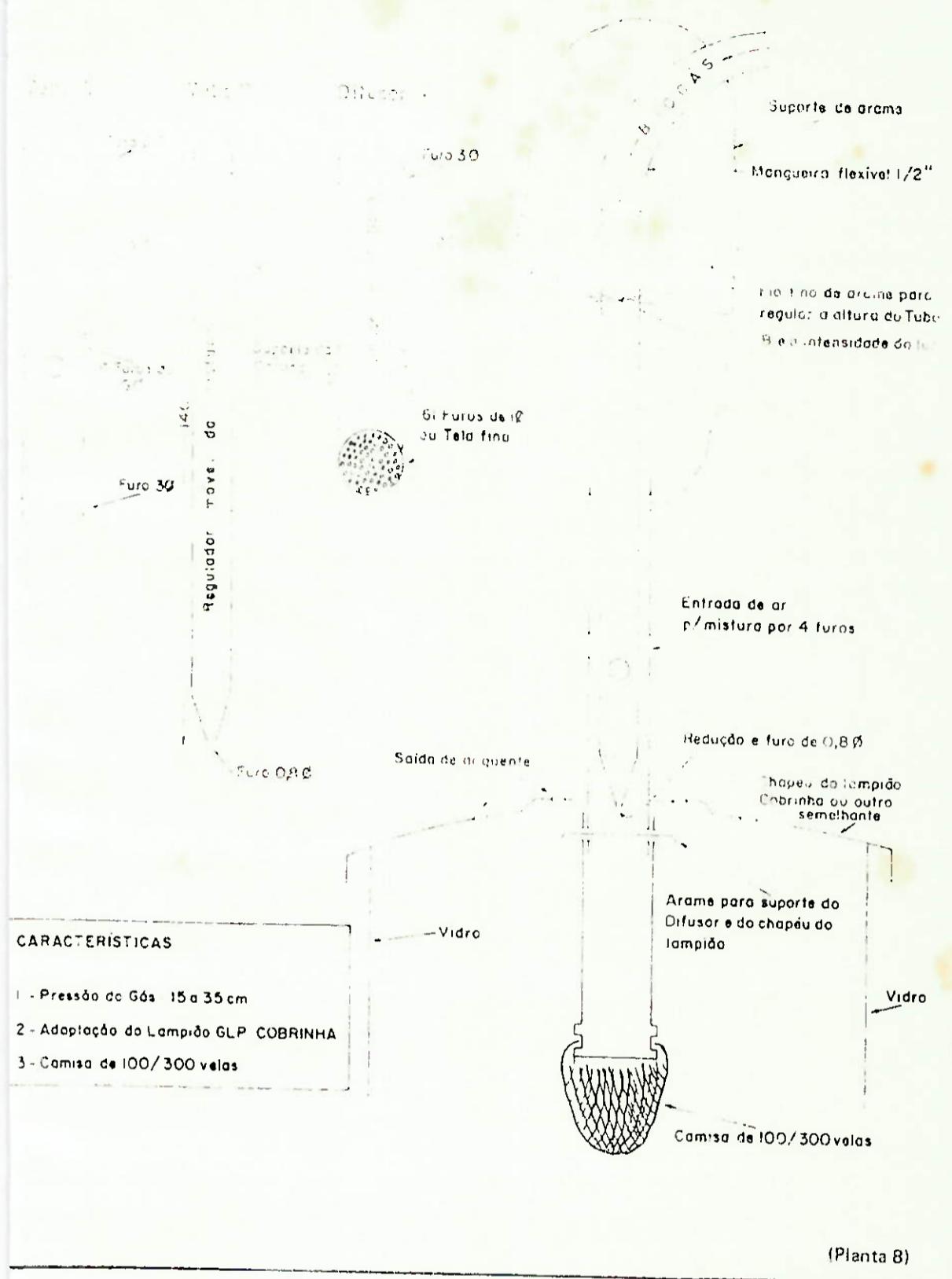
O biogás produzido durante as horas noturnas, armazenado num gasômetro de 16 m<sup>3</sup> de volume; construído em lona plástica flexível reforçado com filamentos de níquel. A campânula do gasômetro está imersa em água, enquanto contra-pesos com 30 kg cada um fornecem a pressão de uso de biogás.

CORTES ESQUEMÁTICOS DO DIGESTOR E DO GASÔMETRO

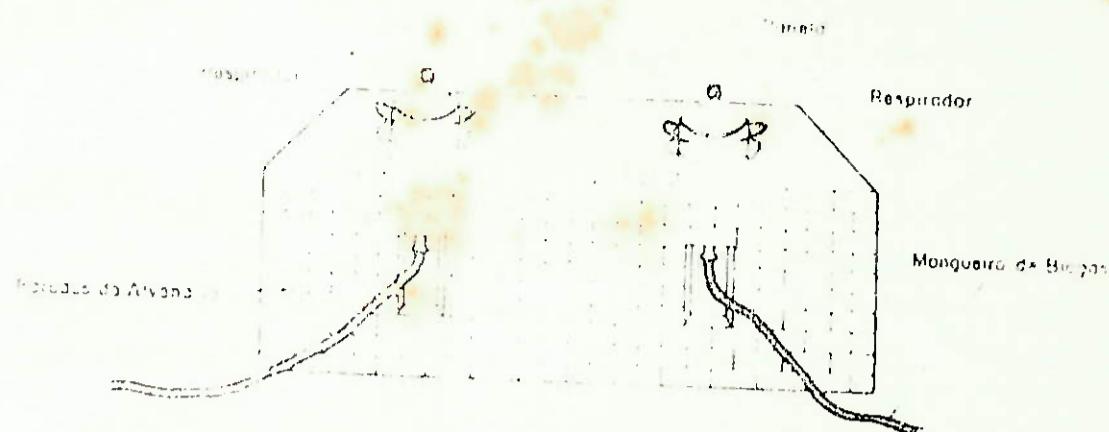


\* L. JOHN FRY, "Practical Building of Methane Power Plants", Standard Printing, Sta. Barbara - California, 1974.

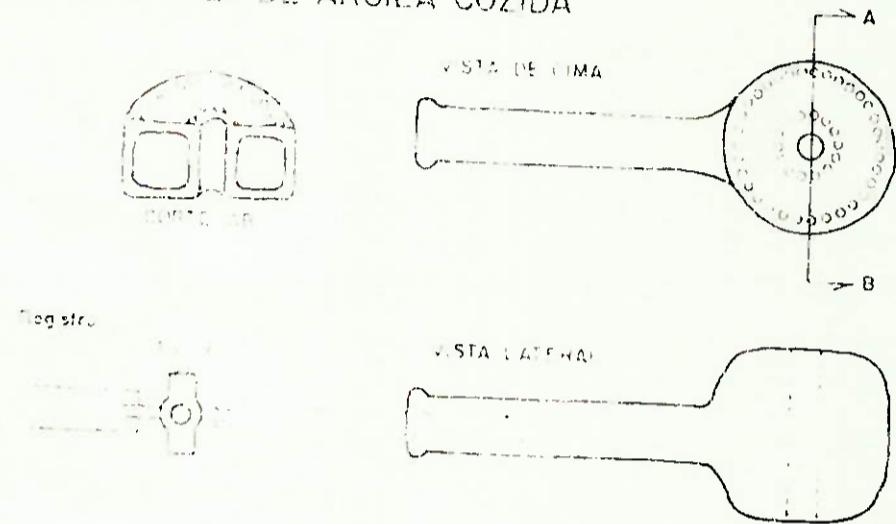
## ADAPTAÇÃO DE MODELO CHINÊS APRESENTADO PELA FAO/70



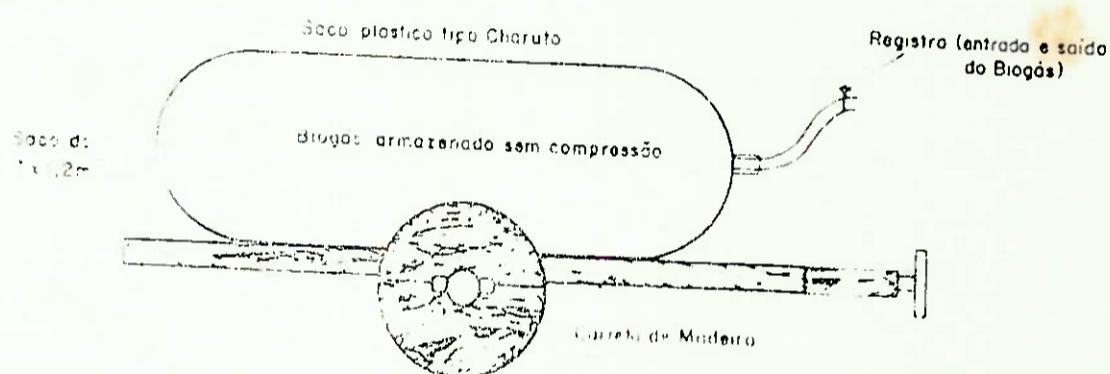
FOGÃO RURAL CHINÊS COM QUEIMADORES E PANELAS  
ADAPTADO DA FAO/78



QUEIMADOR CHINÊS DE ARGILA COZIDA



SACO PLÁSTICO PARA ARMAZENAR BIOGÁS PARA BOMBA DE  
IRRIGAÇÃO



(Planta 9)