

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO MECÂNICO

PROJETO BÁSICO DE UMA INSTALAÇÃO RURAL DE BIOGÁS

Autor: Gastão Dias Motta

Orientador: Prof. Aluisio O. ^{Leveia} Marcondes Filho

1985

A G R A D E C I M E N T O S

Aos meus pais e irmãos, pelo grande apoio que têm me dedicado em todos os momentos, sempre incentivando-me a lutar por meus objetivos.

Ao professor Aluisio, pela competência e disposição demonstradas na transmissão de seus conhecimentos, sem o que não seria possível a execução deste trabalho.

S U M Á R I O

Este trabalho objetiva a elaboração do projeto básico de uma instalação de biogás para uma fazenda típica, de forma a se usufruir, da melhor e mais racional maneira possível, dos benefícios oriundos da implantação de um biodigestor. O biogás gerado substituirá, de forma econômica e eficaz, os combustíveis até então utilizados nos fogões (GLP) e nas moto bombas de irrigação (gasolina).

Será feita inicialmente uma apresentação geral sobre o biogás, incluindo: definição, processo de produção, composição, propriedades e principais aplicações. Tratar-se-á então dos biodigestores, com ênfase em alguns aspectos de operação, nos tipos mais encontrados e nas vantagens que estes podem oferecer. Serão apresentados e discutidos a seguir alguns dados indicativos da presença dos biodigestores e do papel desempenhado por estes no mundo e, em particular, no Brasil.

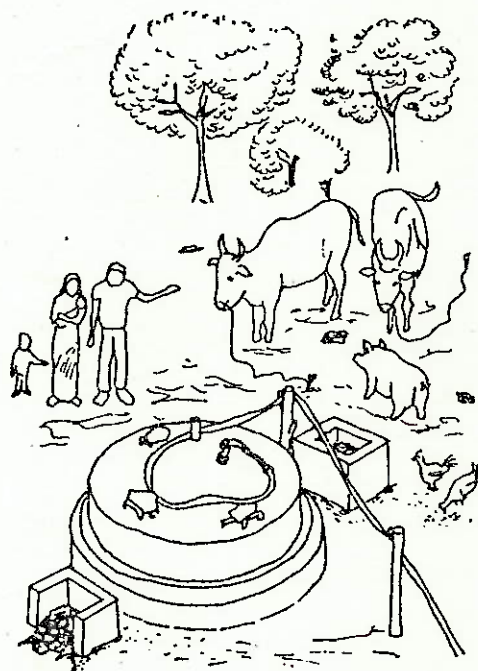
Finda esta parte descritiva e introdutória, voltar-se-á a atenção ao problema que se quer resolver. Será feita inicialmente uma descrição física da fazenda e a colocação da real necessidade que incentivou a elaboração deste projeto. Posteriormente, será feita uma formulação mais detalhada do problema, com a definição das principais especificações técnicas e pré-requisitos funcionais, operacionais e construtivos a serem atendidos pela instalação a ser projetada.

Uma descrição geral sobre a concepção física e o funcionamento da instalação adotada como solução do problema já estabelecido será então fornecida.

O próximo passo consistirá então no dimensionamento

e selecionamento de alguns dos principais componentes da instalação, chegando-se assim a uma melhor definição física da mesma.

Finalmente, dando fim ao chamado projeto básico, encontrar-se-á uma comprovação da viabilidade econômica do projeto, a qual é indispensável para que se possa tomar a decisão de se levar adiante o empreendimento.



Í N D I C E

	Página
CAPÍTULO I -	
Introdução.....	1
CAPÍTULO II -	
Biogás e Biodigestores.....	2
1 - O que é o biogás	2
2 - Aplicações e vantagens do biogás	3
3 - Composição e propriedades do biogás	5
4 - Biodigestores	8
5 - O biogás no Brasil e no mundo	12
CAPÍTULO III -	
Estabelecimento do Problema e da Necessidade.....	14
CAPÍTULO IV -	
Formulação do Problema - Especificações Técnicas.....	16
CAPÍTULO V -	
Concepção da Instalação.....	18
CAPÍTULO VI -	
Dimensionamento.....	24
1 - Introdução	24
2 - Dados e hipóteses iniciais	24
3 - Selecionamento do compressor	25
4 - Dimensionamento do resfriador posterior	27

5 - Processo de enchimento dos reservatórios	36
6 - Dimensionamento do biodigestor	40

CAPÍTULO VII -

Análise Econômica do Projeto.....	42
1 - Introdução	42
2 - Investimento	43
3 - Economia de combustível	43
4 - Custo operacional	44
5 - Cálculo do prazo de retorno do investimento	45
6 - Conclusão	46

BIBLIOGRAFIA.....	47
-------------------	----

ANEXO A -

Tabelas.....	49
--------------	----

ANEXO B -

Catálogo do compressor.....	55
-----------------------------	----

ANEXO C -

Catálogos da Serpentina.....	60
------------------------------	----

I - INTRODUÇÃO

A busca de soluções alternativas para o atendimento das necessidades energéticas da humanidade tem sido um dos maiores desafios com que o homem tem se defrontado nos últimos anos. Urge que novas fontes de energia venham, em pouco tempo, a substituir os combustíveis fósseis até hoje largamente utilizados; além de não serem bens renováveis e de constituírem-se em agentes poluidores do meio ambiente, tais combustíveis tiveram seus custos extremamente elevados com o advento da chamada "crise do petróleo".

Dentro deste contexto, diversas soluções novas têm sido propostas, ao mesmo tempo em que outras antigas têm ganhado mais importância e merecido maiores estudos e investimentos. É o que acontece com o biogás, cujo processo de produção já é conhecido há bastante tempo e vem ganhando importância crescente nos últimos anos.

II - BIOGÁS E BIODIGESTORES

1 - O que é o biogás

Biogás é um combustível gasoso obtido a partir da digestão anaeróbica de matéria orgânica. Digestão anaeróbica é, por sua vez, um processo biológico no qual ocorre a decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigênio livre, sob a ação de bactérias.

A produção do biogás tem lugar nos biodigestores (dispositivos especialmente construídos para este fim), sendo também encontrada nos aterros sanitários, onde é depositado o lixo dos grandes centros urbanos. São inúmeros os materiais de origem orgânica que podem ser utilizados para a produção do biogás, dentre os quais pode-se destacar: esterco (bovino, suíno, avícola, etc.), lixo, esgoto, restos de culturas agrícolas, resíduos em geral (de residências, fábricas, usinas de açúcar e álcool, etc.), palha, grama e outros.

Como subproduto da produção do biogás, obtém-se ainda do biodigestor um lodo composto de matéria orgânica que possui ótimas características fertilizantes, sendo pois de grande valia na agricultura.

Apresenta-se a seguir uma representação esquemática do ciclo de matéria e energia encontrado na produção do biogás. (Figura 1).

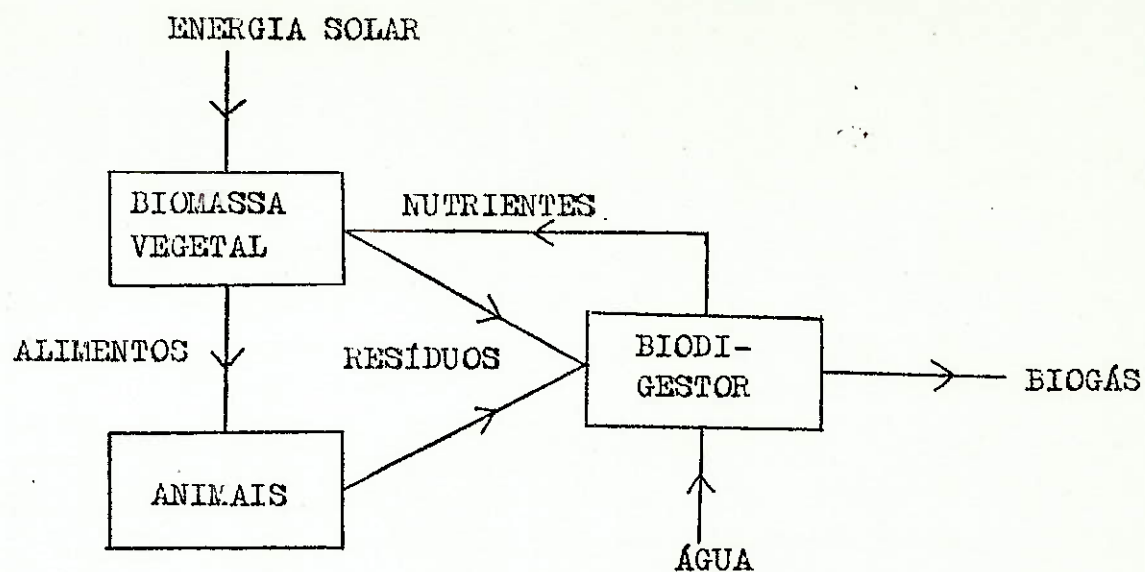


Figura 1. Ciclo de matéria e energia na produção do biogás

2 - Aplicações e vantagens do biogás

Sendo um combustível de alto poder energético, o biogás encontra uma série de aplicações interessantes, sendo mais comumente empregado em:

- queima direta em fogões;
- iluminação, em lampiões de camisa;
- alimentação de motores de combustão interna de ciclo OTTO ou Diesel;
- aquecimento de incubadoras, fornalhas, secadores, caldeiras, etc.;
- geladeiras a querosene.

Inúmeras são as vantagens provenientes da instalação de um biodigestor. Assim, poder-se-ia destacar os seguintes benefícios:

- produção de biogás com matéria-prima local, implicando em economia de outros combustíveis;

- produção de biofertilizante, com economia de adubos minerais;
- auxílio no saneamento básico, pois os restos digeridos encontram-se isentos de cheiro e microorganismos patogênicos causadores de doenças;
- melhoria das condições sanitárias das culturas, uma vez que, após a colheita, muitos microorganismos causadores de doenças em plantas permanecem nos restos das culturas e vão causar novas doenças nas culturas seguintes. A utilização desses restos no biodigestor elimina esses microorganismos;
- o resíduo do biodigestor é isento de sementes de ervas daninhas que se disseminam através do estrume de animais "in natura".

Os seguintes valores podem ser adotados como guia para o cálculo da demanda de biogás em algumas aplicações:

- para cozinhar - $0,227 \text{ m}^3$ por pessoa por dia
- para iluminação - $0,127 \text{ m}^3$ por lâmpada 100 velas por hora
- para força motriz - $0,425 \text{ m}^3$ por HP por hora
- para banho - $0,8 \text{ m}^3$ por banho/pessoa

Quanto à utilização do biogás para a geração de força motriz, esta torna-se mais viável economicamente para o pequeno empreendedor quando da utilização em motores estacionários; para aplicações automotivas, devido à necessidade de se armazenar grande quantidade de energia em espaço reduzido, torna-se importante a purificação do biogás (com a retirada do gás carbônico - parcela não combustível) e compressão do metano resultante (parcela combustível) a altas pressões, aumentando sobremaneira o custo da instalação. Existe também a alternativa de armazenamento criogênico, ficando o metano no estado líquido; neste caso, também o custo representa um fator limitante.

Tal utilização automotiva já adquire maior interesse quando atuando, por exemplo, juntamente a uma estação de tratamento de esgoto ou lixo de um grande centro urbano, pois aí o biogás já é disponível e se encontra em maior quantidade. É bom lembrar que muitas dessas estações costumam simplesmente queimar o gás produzido, a título de tratamento.

O biogás também não tem sido indicado para a geração de energia elétrica onde esta já está disponível, pois o rendimento global, desde a queima do gás combustível até a energia fornecida pelo gerador, seria da ordem de apenas 20% (cabe / entretanto uma análise econômica mais detalhada em cada caso). Por outro lado, tal alternativa mostra-se atraente em localidades onde a energia elétrica ainda não é disponível ou é gerada a partir da queima de outros combustíveis.

3 - Composição e propriedades do biogás

O biogás é uma mistura de gases, cujas proporções podem variar em função da matéria-prima utilizada e da eficiência do processo de produção. Uma composição média é fornecida a seguir (base volumétrica):

- metano (CH_4)	60%
- gás carbônico (CO_2)	38%
- nitrogênio e hidrogênio (N_2, H_2)	pouco
- gás sulfídrico (H_2S)	traços

Pode-se perceber que os componentes principais são o metano / (que é combustível) e o gás carbônico (que não queima).

A título de comparação energética, apresenta-se abaixo o poder calorífico de alguns combustíveis gasosos:

- biogás	20 - 26 J/cm ³
- metano	33,2 - 39,6 J/cm ³
- gás natural	38,9 - 81,4 J/cm ³
- propano	81,4 - 96,2 J/cm ³
- butano	107,3 - 125,8 J/cm ³

As variações dependem do grau de saturação e da porcentagem dos gases componentes.

O biogás é um gás explosivo na proporção de 6 a 15% com ar atmosférico, da mesma forma que o gás liquefeito de petróleo. Não apresenta nenhum odor ou fuligem quando queimado, mas, devido à presença do gás sulfídrico, apresenta um odor típico que pode ser útil para detectar vazamentos. O gás sulfídrico possui características corrosivas, o que pode implicar na necessidade de uma purificação do biogás.

É feito a seguir um apanhado geral das principais propriedades dos gases que formam o biogás.

a) METANO

O metano é o primeiro membro da série de hidrocarbonetos saturados ou parafínicos, sendo o principal componente do gás natural e o componente principal e energético do biogás. É inflamável, incolor, inodoro, sem sabor e não é considerado um gás tóxico; sua ação fisiológica é a de um simples asfixiante que, quando em altas concentrações, toma o lugar do oxigênio requerido para manter a vida. Mais algumas propriedades físicas do metano são fornecidas abaixo:

- peso molecular = 16,04
- densidade relativa a 21°C = 0,5639 (ar = 1)
- temperatura crítica = -81,9°C
- pressão crítica = 45,8 atm

Por ser um gás que não se liquefaz facilmente, costuma ser armazenado no estado gasoso a altas pressões (200 atm), a médias

e baixas pressões através de zeólitos ou criogenicamente.

b) GAS CARBÔNICO

O dióxido de carbono ou gás carbônico é um gás inodoro que possui um sabor ácido fraco, devido à formação de ácido carbônico que ocorre pela dissolução do mesmo na água. É aproximadamente 50% mais pesado que o ar e se dissolve com muita facilidade na água. Possui uma propriedade muito importante: em condições normais de pressão, passa diretamente do estado sólido para o gasoso; isto faz com que se torne um agente refrigerante muito popular (gelo seco). Seu efeito fisiológico sobre o homem também é de asfixia, como o metano. Algumas propriedades adicionais são fornecidas:

- peso molecular = 44,01
- densidade relativa a 21°C = 1,519 (ar = 1)
- temperatura crítica = 31,2°C
- pressão crítica = 72,9 atm

c) ACIDO SULFÍDRICO (GÁS SULFÍDRICO)

O ácido sulfídrico tem sua estrutura eletrônica semelhante à da água, sendo muito mais volátil do que essa. É normalmente encontrado na forma gasosa, porém é bastante solúvel na água.

- peso molecular = 34
- densidade relativa a 21°C = 1,193 (ar = 1)
- temperatura crítica = 100,4°C
- pressão crítica = 92,03 kgf/cm² abs

O ácido sulfídrico ou gás sulfídrico possui um odor forte característico de ovo podre, é muito venenoso e possui grande corrosividade, principalmente nos metais.

4 - Biodigestores

Biodigestores são tanques fechados onde se obtém o biogás, através do processo de fermentação de matéria orgânica na ausência de oxigênio livre. Sendo carregados com matéria-prima orgânica e água, fornecem biogás e biofertilizante. A / grosso modo, um biodigestor é constituído de um poço (onde tem lugar o processo de biodigestão) e de uma câmara para acumulação de gás (gasômetro). Para o bom andamento do processo de digestão anaeróbica, é importante que a temperatura do biodigestor seja mantida mais ou menos constante (idealmente ao redor de 35°C). A menos de 15°C a produção de gás cessa, razão pela qual os digestores são costumeiramente construídos isolados termicamente (aterrados, por exemplo).

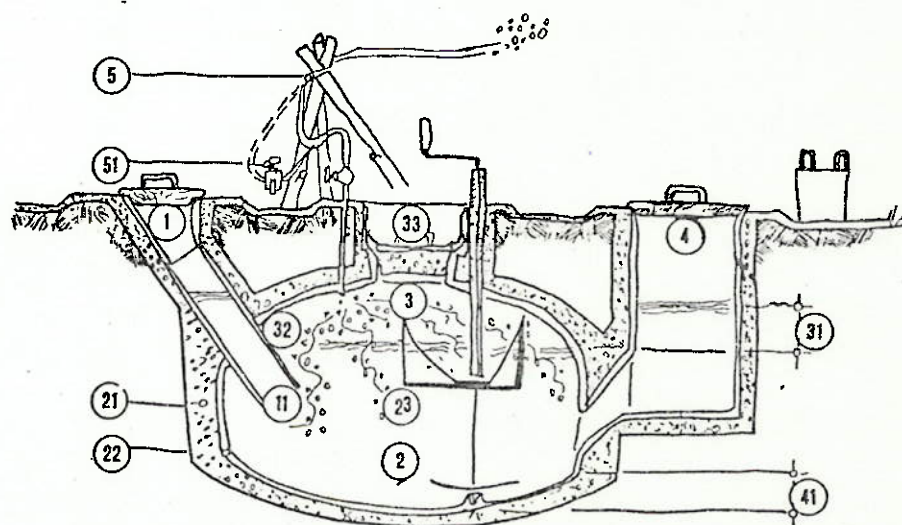
As bactérias precisam de tempo para decomporem a matéria orgânica, tempo este que varia em função da temperatura. Em geral, este tempo oscila entre 30 e 60 dias. Cuidado especial deve ser tomado na escolha da localização do biodigestor, observando-se os seguintes aspectos:

- deve ficar ao sol e abrigado do vento dominante;
- não deve ficar muito longe das casas e do estábulo (no caso de uma fazenda), para facilidade de transporte do gás e da matéria-prima;
- deve estar a pelo menos 2 metros de distância de poços de abastecimento de água, para evitar uma eventual contaminação no caso de fugas.

Os biodigestores podem ser contínuos ou podem operar pelo sistema estático (ou de batelada). Os primeiros caracte-

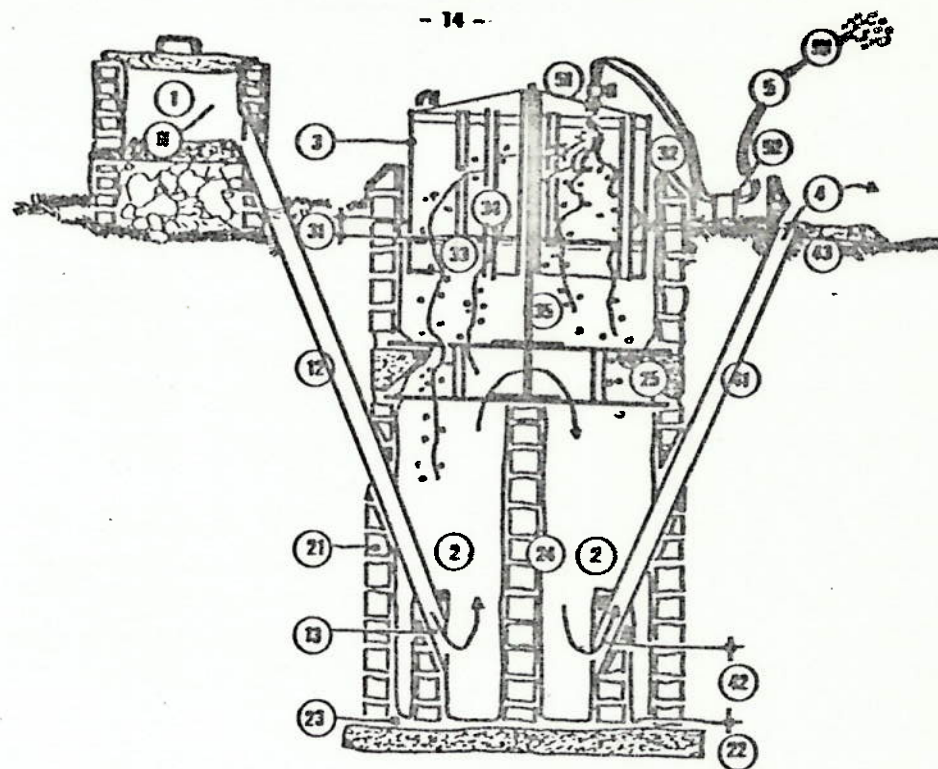
rizam-se pela produção ininterrupta de gás, sendo a carga de resíduo fresco e a descarga de biofertilizante realizadas periodicamente; o efluente é retirado do biodigestor por uma canalização de saída, pelo princípio dos vasos comunicantes. Os segundos têm como característica operacional principal o fato de serem abastecidos de uma só vez, e descarregados quando todo o gás produzido tiver sido utilizado. Neste último tipo, cada carga tem produção limitada de gás, mas possui a vantagem de poder receber resíduos não triturados como matéria-prima.

Os biodigestores mais comumente empregados são o do tipo indiano (Gobar) e o do tipo chinês (Figuras 2 e 3), ambos operando sob a forma contínua.



- 1 Tubo de carga, com 25-40cm de diâmetro
Relação água/material 1:1 a 3:1
- 11 O tubo deve terminar dentro do banho, quando a abóbada estiver cheia de gás
- 2 Poço do digestor (aprox. 50 a 60 vezes o volume a carregar por dia)
- 21 Paredes e fundo
- 22 Capa à prova de água
- 23 Agitador
- 3 Abóbada
- 31 A diferença destes níveis equivale à pressão do gás
- 32 Superfície da abóbada, forrada com piche e tinta sintética
- 33 Tampa removível, estanque
- 4 Descarga e compensador de pressão. Esvaziar semanalmente
- 41 Tubo de descarga, de 50 a 80cm acima do fundo
- 5 Tubo de gás com purga no ponto mais baixo

Figura 2. Biodigestor do tipo Chinês



- 1 Caixa de carga e mistura, relação material/água 1:1 a 1:3
- 11 Inclinação no fundo para evitar a entrada de terra para o digestor
- 12 Tubo de carga, pelo menos 10cm de $\varnothing$
- 13 Extremo do tubo cortado em vertical para evitar perdas de gás
- 2 Poço do digestor, mais ou menos 50 vezes a carga disponível diária
- 21 Paredes de tijolo
- 22 Fundo de concreto
- 23 Cobertura de cimento, sem vazamento, todos os cantos arredondados
- 24 Parede divisória - evita a saída direta de carga diária
- 25 Plataforma prolongada para o interior - evita o escape de gás junto à parede
- 3 Campanula de gás com pintura anti-corrosiva
- 31 A diferença de níveis de água indica a pressão do gás
- 32 As paredes da campanula são particularmente sujeitas à corrosão
- 33 A espuma e a camada flutuante se formam aqui
- 34 Paus cruzadas (girando a campanula desfa-se a casada flutuante)
- 35 Ferro-guia - evita que a campanula entorte
- 4 Saída - controla a altura de água dentro do digestor
- 41 Tubo de saída, pelo menos 10cm $\varnothing$
- 42 Tubo de saída começando a cerca de 50-80cm acima do fundo
- 43 Depósito de material digerido
- 5 Tubo de gás, de plástico ou de borracha, para permitir a rotação da campanula.
- 51 Saída de gás
- 52 Purga para água no ponto mais baixo do depósito de gás
- 53 Tubo para o lugar de consumo.

Figura 3. Biodigestor do tipo Indiano

No biodigestor do tipo indiano, o gás se acumula na campânula, que levanta à medida que o volume de gás aumenta e abaixa quando o gás é consumido. A pressão do gás é determinada pelo peso da campânula, que pode ser aumentado pela adição de pedras, por exemplo. Enche-se a câmara de digestão até escorrer efluente pelo tubo de saída. Já no tipo chinês, o gás é armazenado na parte superior do poço, sendo todo o conjunto construído em alvenaria. Tanto no tipo indiano como no tipo chinês, a pressão do gás dentro do biodigestor corresponde à diferença existente entre o nível de água no poço e o nível de água nos tubos de carga e descarga.

O tamanho do biodigestor a ser instalado em determinada localidade está na dependência direta da disponibilidade de matéria-prima orgânica e da necessidade de gás. No caso de se utilizar resíduo bovino como matéria-prima, o dimensionamento do biodigestor deve obedecer aos dados da tabela 1.

Animais estabu- lados	Equivalente em esterco verde (kg)	Tam. do digestor (m ³)	Prod. diária de gás (l)	Gás suficiente para		
				Cozinha Pessoas /dia	Ilumina- ção 100 wh	Motor HP/h
2 - 3	30	2	1100	4,8	8,7	2,58
3 - 4	45	3	1660	7,3	13,0	3,9
4 - 6	60	4	2200	9,7	17,3	5,2
5-10	90	6	3300	14,5	26,0	7,8
12-15	180	8	6620	29,2	52,1	15,6
16-20	240	10	8830	38,9	69,5	20,8
25-30	375	15	13800	60,8	108,7	32,5
35-40	525	20	19320	85,1	152,1	45,5
40-45	600	25	22000	96,9	173,2	51,8
45-55	675	35	24800	109,3	195,3	58,4
60-70	900	45	33120	148,9	260,8	77,9
85-100	1280	60	47100	207,5	310,9	110,8
110-140	1650	85	60700	267,4	477,9	142,8
400-450	6000	140	220800	972,7	1738,6	519,5

Tabela 1. Dados para o dimensionamento de um biodigestor utilizando resíduo bovino como matéria-prima

5 - O biogás no Brasil e no mundo

Como já foi dito, o processo de produção do biogás é conhecido há bastante tempo, mas apenas recentemente começou a ganhar maior importância no ocidente. Os biodigestores encontram-se bastante difundidos em diversos países asiáticos, sendo em sua maioria biodigestores domésticos ou familiares (de até 10 m³) utilizados principalmente para a cocção de alimentos. Países como a China e a Índia possuem uma longa tradição no aproveitamento do biogás com fins de saneamento básico e produção de energia. Em 1980, a China contava com 4,5 milhões de biodigestores, enquanto que a Índia contava com 70.000.

No Brasil, o interesse pelo biogás é recente, embora algumas pessoas, inclusive fazendeiros, já o conheçam há mais tempo. Estudos e projetos têm sido desenvolvidos por entidades de pesquisa, universidades e setores de assistência técnica rural. Como exemplos, pode-se citar: as experiências de aproveitamento do gás de lixo e esgoto urbanos realizadas pelas companhias de saneamento básico de São Paulo (SABESP) e do Paraná (SANEPAR), para utilização em suas frotas de veículos e em ônibus urbanos; as pesquisas sobre o aproveitamento do biogás em pequena escala, desenvolvidas pela Faculdade de Ciências Agrárias de Jaboticabal; a idéia de implantação de biodigestores para eletrificação rural, implantada pela Eletrobrás; as pesquisas e instalações concretizadas pelo Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - EMBRAPA e a geração de biogás a partir do vinhoto (subproduto poluente obtido da produção de etanol), que tem sido objeto de pesquisa da PETROBRÁS. Calcula-se hoje em três mil o número de biodigestores instalados no país.

O Brasil domina atualmente a tecnologia do biogás,

além de possuir todas as condições físicas favoráveis à utilização de biodigestores: grandes campos e pastagens, agricultura e pecuária desenvolvidas, inverno quente e poucas variações de temperatura. Poder-se-ia colocar então uma questão: por que os biodigestores ainda não são uma realidade mais difundida em nosso país? Na verdade, ainda está faltando uma comprovação da viabilidade econômica da aplicação do biogás em pequena escala (em fazendas, por exemplo). Há que se provar que os benefícios oriundos da implantação de uma instalação de biogás superam os custos envolvidos, principalmente com relação ao investimento inicial necessário.

Assim sendo, o biogás poderá revelar-se uma das alternativas energéticas viáveis para o nosso país. Dentro de curto espaço de tempo, essa forma de combustível poderá difundir-se em aplicações rurais e junto a estações de tratamento de esgoto e lixo dos centros urbanos, uma vez que se constitui em fonte renovável e inesgotável de energia.

III - ESTABELECIMENTO DO PROBLEMA E DA NECESSIDADE

O presente trabalho tem como objetivo a formulação do projeto básico de uma instalação de processamento de biogás para utilização rural, em uma fazenda típica, visando à otimização do emprego dos recursos disponíveis para a geração de energia, de forma a atender às necessidades locais.

A fazenda em questão tem sua economia baseada na pecuária, ao mesmo tempo em que possui culturas agrícolas destinadas à alimentação de seu gado e também à produção de alimentos para venda. Sob o ponto de vista energético, a eletricidade é disponível, enquanto que para a cocção de alimentos existem ainda as opções de fogão a lenha ou a gás de botijão (GLP). Quanto à distribuição física, encontram-se os moradores habitando em casas próximas entre si, formando uma colônia; as pastagens e culturas encontram-se espalhadas pela fazenda e necessitam constantemente de irrigação, realizada por meio de bombas que succionam água disponível nas proximidades. Tais bombas são acionadas por motores de combustão interna a gasolina, podendo ser instaladas com facilidade em qualquer ponto da fazenda sem a necessidade de extensão de redes elétricas para o funcionamento (o que aconteceria se fossem utilizados motores elétricos).

Após um levantamento detalhado das necessidades energéticas da fazenda, bem como de suas condições físicas e disponibilidade de recursos, optou-se pela instalação de um biodigestor na mesma. Os motivos encontrados para tal decisão não foram poucos:

- a utilização do biogás para a cocção de alimentos revela-se uma alternativa atraente, uma vez que este é um combustível gerado a partir de recursos disponíveis na própria fazenda (ao contrário do GLP) e resulta numa operação mais simples e mais limpa se comparada com o fogão a lenha;
- a substituição da gasolina pelo biogás nos grupos bombeadores de água resulta em grande economia de recursos para a fazenda, tendo-se em vista o alto custo do combustível fóssil até então utilizado;
- o biofertilizante obtido como subproduto da produção de biogás pode ser utilizado com grandes vantagens na lavoura, substituindo de forma bastante econômica e eficaz os adubos minerais até então comprados de fornecedores externos;
- o aproveitamento dos restos de culturas como matéria-prima orgânica no biodigestor se traduz em benefícios sanitários para a lavoura, contribuindo para a eliminação de microorganismos prejudiciais às plantações;
- o saneamento básico da fazenda é melhorado com a utilização do biodigestor, uma vez que todos os resíduos orgânicos digeridos encontram-se isentos de cheiros e microorganismos causadores de doenças nos homens e nos animais.

IV - FORMULAÇÃO DO PROBLEMA - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Já foi feita uma análise acerca da necessidade latente do projeto que ora se apresenta. Encontra-se abaixo uma formulação mais detalhada do problema já colocado, com o levantamento de algumas especificações técnicas e pré-requisitos funcionais, operacionais e construtivos a serem atendidos pelo projeto. Tal formulação é fruto de um estudo cuidadoso das condições físicas da fazenda e dos objetivos perseguidos pelo presente trabalho.

1. A produção de biogás dar-se-á de forma contínua, havendo apenas eventuais paradas para limpeza do biodigestor.
2. O biodigestor utilizará como matéria-prima indistintamente esterco, esgoto doméstico ou restos de culturas agrícolas. Deverá ser dimensionado de acordo com a disponibilidade de matéria-prima e com a demanda existente. Localizar-se-á junto à colônia, de forma que os esgotos domésticos possam ser diretamente transportados até o biodigestor e a ligação deste com os fogões das casas se dê por meio de tubulações não muito longas, sem a necessidade de compressores.
3. O volume de biogás produzido num dia deverá ser o suficiente para suprir as necessidades de cocção de cinco famílias de cinco membros cada (em média), além de gerar uma energia mecânica nos motores das bombas estimada em 16 Hp-h.
4. O projeto deverá prever um queimador para o gás produzido e eventualmente não utilizado(tocha).

5. Deverá ser eliminada, na medida do possível, a unidade existente no biogás a ser utilizado.
6. O biogás a ser utilizado como combustível nos motores de combustão interna deverá ser armazenado sob pressão em cilindros de 0,2m³ de capacidade, os quais serão deslocados juntamente com as motobombas até os locais de irrigação. Este gás deverá ainda estar isento de gás sulfídrico, devido às suas características corrosivas.
7. Uma vez findo o processo de enchimento dos reservatórios e atingida a pressão máxima de trabalho do compressor de biogás, este deverá se desligar automaticamente através de um pressostato.
8. Para o seu funcionamento, a instalação se valerá da energia elétrica disponível na fazenda.
9. O projeto da instalação deverá sempre buscar soluções de baixos custos inicial e operacional, de forma a favorecer a viabilidade econômica do empreendimento. Os componentes utilizados deverão ser de simples operação e facilmente encontráveis no mercado.

V - CONCEPÇÃO DA INSTALAÇÃO

Nos dois capítulos anteriores, foram feitas a definição do problema existente e a formulação do mesmo sob uma forma mais detalhada, com o levantamento de uma lista de características a serem atendidas pelo projeto a ser desenvolvido. Dentro de uma variedade de formas construtivas possíveis, apresenta-se agora uma descrição geral sobre a concepção e o desempenho da solução que foi adotada, por melhor se enquadrar dentro das exigências já estabelecidas. O dimensionamento e seleção de alguns componentes principais serão feitos no capítulo seguinte.

A escolha do biodigestor a ser utilizado recaiu sobre o tipo indiano, uma vez que este opera sob a forma contínua, é de simples construção, já é largamente utilizado há muito tempo com grande sucesso e se adapta muito bem às condições locais da fazenda.

O biogás produzido no poço do biodigestor é inicialmente armazenado na parte superior do mesmo (campânula), encontrando-se aí a baixa pressão (pouco superior à atmosférica). Para ser utilizado, é então captado por meio de um tubo flexível, passando a seguir por um purgador. Este purgador tem a função de retirar parte da umidade (H_2O) existente no biogás oriundo do processo de digestão. O biogás pode agora seguir dois caminhos diferentes:

- uma parcela do gás produzido segue, por meio de tubulações, até os fogões das casas, onde é consumido em queimadores próprios e se transforma em calor para realizar a cocção de alimentos;

- a outra parcela do biogás sofre ainda algumas transformações antes de ser utilizada como combustível nos motores de combustão interna das motobombas.

Como pode ser observado na figura 4, o gás a ser utilizado nos motores passa por diversas etapas de tratamento. É feita a seguir uma análise detalhada de cada uma dessas etapas, ressaltando-se suas importâncias, concepções físicas e desempenhos.

a) Processo de remoção do gás sulfídrico

Uma das exigências impostas ao biogás que vai ser queimado nos motores foi a remoção do gás sulfídrico resultante do processo de biodigestão, devido às suas características corrosivas. É utilizado então um filtro especialmente projetado para este fim, por onde passa o gás que acabou de sair do purgador.

O meio escolhido para a remoção do gás sulfídrico foi o chamado processo da esponja de ferro, devido ao fato deste ser simples, econômico e já estar largamente experimentado em diversas plantas de processo. O H_2S é removido completamente pela reação com óxido de ferro hidratado, formando sulfeto férrico. O óxido de ferro (usar limalha de ferro, cavacos de ferro, palha de aço, etc.) usualmente está impregnado em aparas de madeira (cepilho, cavacos) que servem como um leito suporte muito barato. O leito de esponja deve ser regenerado periodicamente pela introdução de oxigênio atmosférico, o qual oxida o sulfeto férrico para enxofre elementar e óxido férrico. No entanto, a acumulação de enxofre pode cobrir a superfície do óxido e causar perda de atividade da esponja ou

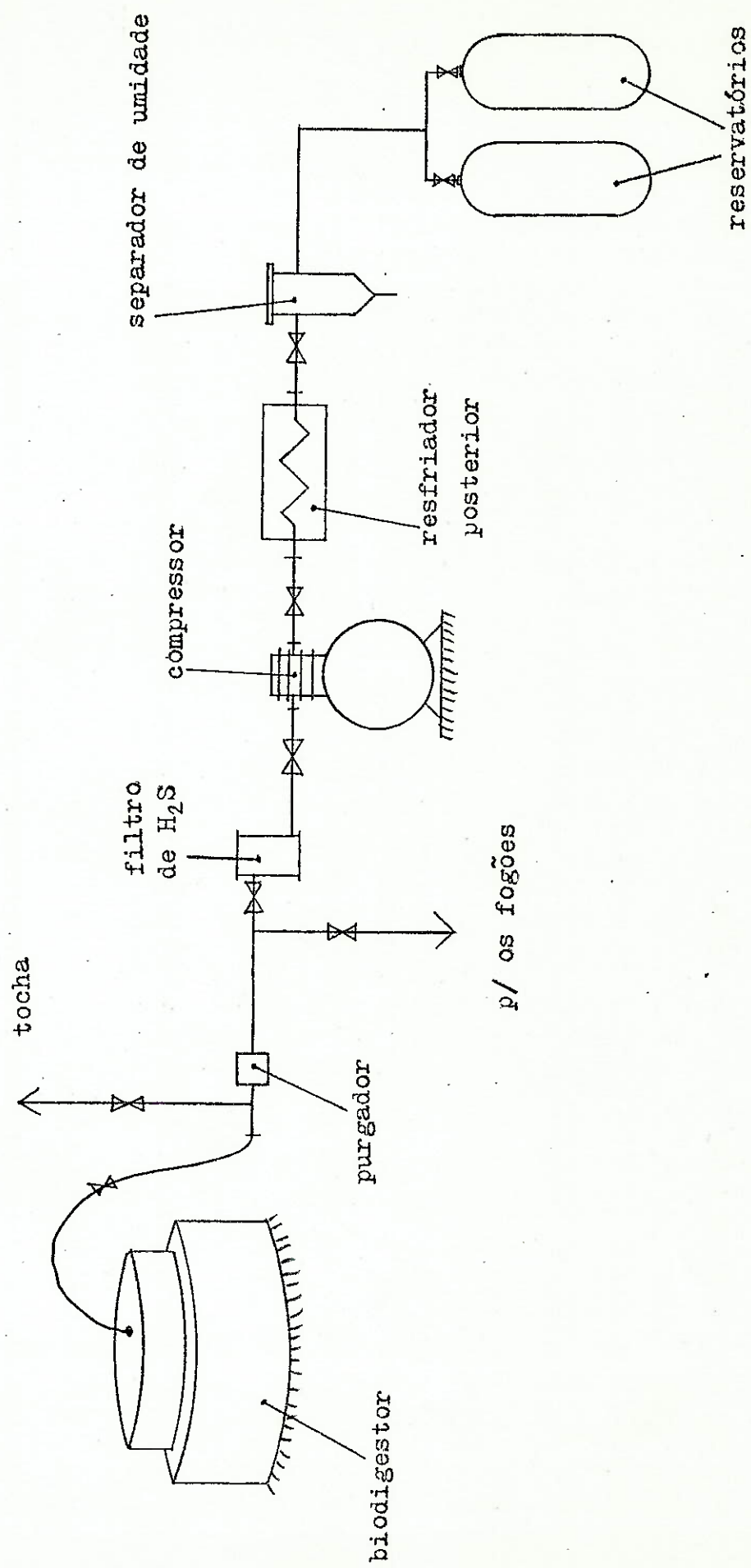


Figura 4. Representação esquemática da instalação

perda de carga excessiva através do leito filtrante. Consequentemente, o recipiente ou filtro deve ser esvaziado e recarregado periodicamente.

b) Compressão do biogás

O biogás, já isento de H_2S e parcialmente desumidificado, sofre agora um aumento de pressão com o intuito de ser posteriormente armazenado em reservatórios. Esta compressão é indicada para que se possa armazenar maior quantidade de gás em menor volume, resultando em redução nos custos dos reservatórios, maior facilidade no transporte dos mesmos e maior autonomia dos motores. Por outro lado, há também que se considerar os custos envolvidos no processo de compressão, buscando-se então uma solução de compromisso entre custos e benefícios por ocasião da escolha da pressão de armazenamento.

É utilizado um compressor de ar de pistão, adaptado ao uso com biogás. Na hora da escolha do modelo (no capítulo seguinte), deverá ser levada em consideração, além da pressão máxima de trabalho do compressor, a vazão fornecida pelo mesmo, à qual corresponderá um tempo de enchimento dos reservatórios compatível com as condições de utilização.

c) Resfriamento posterior do biogás

Antes de ser armazenado, o biogás passa ainda por um processo de resfriamento posterior à compressão. Tal procedimento cumpre dois principais objetivos:

- o aumento da pressão do biogás provoca a condensação de parte do vapor d'água ainda existente, principalmente quando do resfriamento após a compressão (o aumento da pressão é acompanhado por um aumento da temperatura). O resfriador posterior

visa à antecipação deste resfriamento, fazendo com que o condensado possa ser separado do biogás antes deste ser armazenado nos cilindros. Vale lembrar que o gás deve estar o mais seco possível para ser queimado nos motores;

- o resfriamento posterior do biogás resulta numa menor temperatura no interior dos reservatórios ao final do processo de enchimento (quando é atingida a pressão máxima de trabalho do compressor e este é automaticamente desligado), fazendo com que seja encontrada então uma maior massa de gás armazenada nos reservatórios.

O resfriador posterior ("aftercooler") é na verdade um trocador de calor, onde o biogás cede energia a um fluido refrigerante, que poderia ser ar ou água. Apesar de um trocador de calor biogás-água resultar em dimensões menores (se comparado a um trocador biogás-ar), este não foi o escolhido, uma vez que isto implicaria em investimentos adicionais com a instalação hidráulica e em custos operacionais devido à existência de incrustação no trocador, por exemplo.

A solução adotada está representada na figura 5; consiste de um tubo de cobre enrolado em espiral (serpentina), dentro do qual circula o biogás proveniente do compressor. Para se alcançar uma maior eficiência de resfriamento, é utilizada uma ventilação forçada de ar. Tem-se assim um trocador de calor de simples utilização e de baixo custo operacional, representado pela pequena potência elétrica do motor do ventilador e pela manutenção praticamente nula.

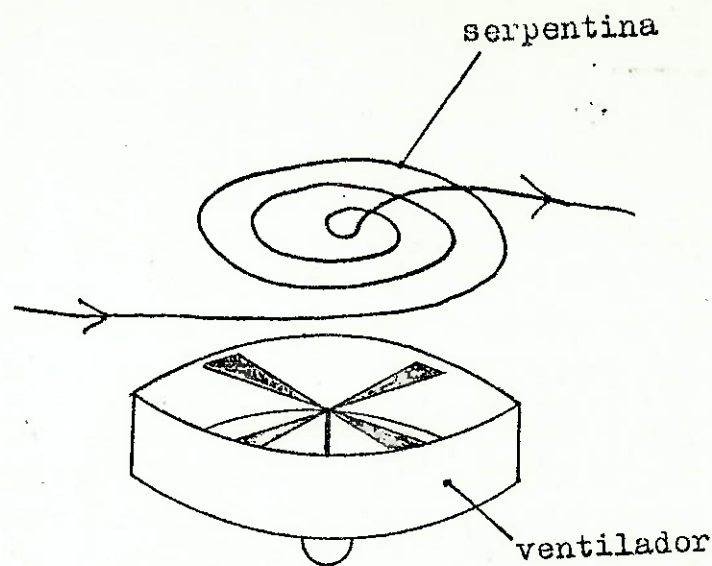


Figura 5. Representação física do resfriador posterior

d) Separador de condensado

O separador de condensado visa a retirar a água que se condensa devido à compressão e posterior resfriamento do biogás, antes que este seja armazenado nos reservatórios. É um acessório muito utilizado em instalações de ar comprimido.

e) Sistema de armazenamento

O gás produzido pelo biodigestor, já isento de H_2S , comprimido, resfriado e desumidificado, é armazenado agora em reservatórios de $0,2 m^3$ cada, para ser posteriormente transportado até o local de utilização das motobombas. Tais reservatórios são simplesmente vasos de pressão cilíndricos, comumente encontrados em instalações de ar comprimido. Podem ser enchidos um ou mais reservatórios de cada vez; atingida a pressão máxima de trabalho do compressor, este é automaticamente desligado através de um pressostato.

VI - DIMENSIONAMENTO

1. Introdução

No capítulo precedente foi feita uma descrição geral sobre cada uma das partes que formam a instalação adotada como solução do problema, o qual já fora anteriormente colocado e definido em termos de especificações técnicas. Este capítulo trata do dimensionamento e selecionamento de alguns dos principais componentes da instalação, chegando-se assim a uma melhor definição física da mesma. O passo posterior será a comprovação da viabilidade econômica do empreendimento (capítulo VII), dando fim pois à fase do chamado "projeto básico". Para a implantação do sistema, faltaria então a execução do "projeto executivo" (detalhamento), com a definição de todos os elementos e parâmetros faltantes e com a especificação completa do projeto.

2. Dados e hipóteses iniciais

Os modelos físicos e matemáticos a serem utilizados nos cálculos encontrados neste capítulo baseiam-se em alguns dados iniciais, hipóteses e simplificações adotadas, que são fornecidas abaixo.

- Para efeito de cálculo, o biogás será suposto como tendo a seguinte composição volumétrica:

- metano 60% ($y=0,6$)
- gás carbônico 40% ($y=0,4$)

onde y = fração molar

- São assumidas as seguintes condições:
 - .temperatura do biogás armazenado no biodigestor = $30^{\circ}\text{C} = 303^{\circ}\text{K}$
 - .pressão do biogás armazenado no biodigestor = $1\text{ atm} = 1,033\text{ kgf/cm}^2$
 - .temperatura ambiente = $T_{\text{amb}} = 25^{\circ}\text{C} = 298^{\circ}\text{K}$
- As fugas de gás e as perdas de carga existentes serão desprezadas nos cálculos, por não serem consideradas muito significativas.
- A temperatura do biogás à saída do resfriador posterior não deverá superar a temperatura ambiente em mais do que 15°C , durante todo o processo de enchimento dos reservatórios (este é um valor comumente encontrado em resfriadores a ar).
- As propriedades do biogás serão avaliadas a partir das propriedades de seus gases componentes, de acordo com regras oportunamente explicadas.
- Os reservatórios encontrar-se-ão, no início do enchimento, preenchidos por biogás à pressão de 1 atm e temperatura ambiente.
- Outras hipóteses ou simplificações que se fizerem necessárias serão esclarecidas no decorrer dos cálculos realizados.

3. Selecionamento do compressor

Após alguns estudos a respeito da pressão máxima de trabalho e vazão a serem obtidas com o sistema de compressão, e após uma pesquisa sobre os modelos de compressores de pistão disponíveis no mercado, foi selecionado um compressor de ar "Wayne", modelo W-5,2, adaptado para biogás, com as seguintes características (ver Anexo B):

- 2 cilindros
- 1 estágio
- deslocamento = $D = 8,8 \text{ m}^3/\text{h}$
- pressão máxima de trabalho = $8,8 \text{ kgf/cm}^2$
- rotação = 710 rpm
- potência do motor elétrico = 1 CV

Adota-se a seguinte nomenclatura:

- T_1 e p_1 = temperatura e pressão do biogás na entrada do compressor, respectivamente;
- T_2 e p_2 = temperatura e pressão do biogás na saída do compressor, respectivamente;
- φ_v = rendimento volumétrico do compressor.

Admite-se os seguintes valores:

- na entrada do compressor
 - $T_1 = 30^\circ\text{C}$
 - $p_1 = 1 \text{ atm}$
- na saída do compressor, início do enchimento
 - $T_2 = 30^\circ\text{C}$
 - $p_2 = 1 \text{ atm}$
 - $\varphi_v = 1,0$
- na saída do compressor, final do enchimento
 - $T_2 = T_{2f}$
 - $p_2 = 8,8 \text{ kgf/cm}^2 \text{ ef.} = 9,833 \text{ kgf/cm}^2 \text{ abs}$
 - $\varphi_v = 0,75$

A temperatura do biogás na saída do compressor, ao final do processo de enchimento dos reservatórios, será avaliada a partir da seguinte expressão, válida para compressão politrópica:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (1)$$

Se a compressão for isoentrópica, então $n = k =$ relação de calores específicos. O valor de k para o biogás será avaliado a partir dos respectivos valores dos gases componentes:

$$k = \sum_i k_i y_i \quad (2)$$

Utilizando os valores da tabela A.2 (Anexo A):

$$k = 0,6 \times 1,32 + 0,4 \times 1,285 = 1,306$$

Utilizando a equação (1) e supondo alguns valores para n , resulta:

$$n = k = 1,306 \quad T_{2f} = 514^\circ\text{K} = 241^\circ\text{C}$$

$$n = 1,25 \quad T_{2f} = 476^\circ\text{K} = 203^\circ\text{C}$$

$$n = 1,2 \quad T_{2f} = 441^\circ\text{K} = 168^\circ\text{C}$$

O processo de compressão será assumido politrópico, com $T_{2f} = 200^\circ\text{C} = 473^\circ\text{K}$.

4. Dimensionamento do resfriador posterior

4.1. Forma construtiva

A forma construtiva do resfriador posterior já foi explicada na página 22, estando representada pela figura 5.

4.2. Determinação do diâmetro da serpentina

O diâmetro do tubo de cobre utilizado na serpentina do resfriador posterior será determinado a seguir, pelo critério da velocidade; isto significa que as velocidades encontradas no interior do tubo, durante o funcionamento da instalação,

deverão situar-se dentro de valores comumente empregados e recomendados pela prática. As vazões (Q) extremas de biogás no interior da serpentina valerão:

- no início da compressão (início de enchimento dos reservatórios)

$$Q = Q \cdot D = 1,0 \cdot 8,8 \text{ m}^3/\text{h} = 8,8 \text{ m}^3/\text{h} \quad (3)$$

- no final do enchimento (supondo que o biogás seja um gás perfeito), à saída da serpentina (*)

$$Q = Q \cdot D \cdot \frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} = 0,75 \cdot 8,8 \cdot \frac{1,033}{9,833} \cdot \frac{(273+40)}{(273+30)} \quad (4)$$

$$Q = 0,72 \text{ m}^3/\text{h}$$

Será adotado inicialmente um tubo disponível no anexo C, fazendo-se então a verificação da faixa de variação da velocidade do biogás:

- dimensões do tubo adotado

- diâmetro interno = $d_i = 13,6 \text{ mm}$

- diâmetro externo = $d_e = 16,0 \text{ mm}$

- área da secção transversal de escoamento

$$S = \pi \frac{d_i^2}{4} = 145,3 \text{ mm}^2 \quad (5)$$

- velocidade no início do enchimento

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{8,8}{3600 \cdot 0,0001453} \Rightarrow V = 16,8 \text{ m/s} \quad (6)$$

- velocidade no final do enchimento, à saída da serpentina

$$V = \frac{0,72}{3600 \cdot 0,0001453} \Rightarrow V = 1,4 \text{ m/s} \quad (7)$$

Como os valores calculados encontram-se dentro da faixa dos usualmente empregados, este tubo é então adotado.

(*) supondo que o biogás se encontre então a uma temperatura de 40°C , isto é, 15°C superior à atmosférica.

4.3. Cálculo do comprimento da serpentina

4.3.1 Considerações iniciais

De acordo com as hipóteses feitas inicialmente, o comprimento da serpentina será calculado de forma a não permitir uma temperatura do biogás na saída do resfriador superior a 40°C (a temperatura ambiente é 25°C). Algumas hipóteses adicionais fazem-se ainda necessárias:

- a condição mais crítica, ou de maior temperatura do biogás à saída do resfriador, corresponde ao final do processo de enchimento (foi verificado que tal afirmação é próxima à realidade). Assim, os cálculos serão realizados para esta situação;
- para efeito de cálculo, o biogás será suposto encontrar-se a uma temperatura igual à média aritmética das temperaturas de entrada e saída na serpentina (T_m);
- no cálculo da transmissão de calor, serão apenas considerados os efeitos de convecção forçada nas superfícies interna e externa do tubo da serpentina e o efeito da condução através da parede do mesmo. Pode ser feita então a seguinte analogia elétrica, representada pela figura 6.

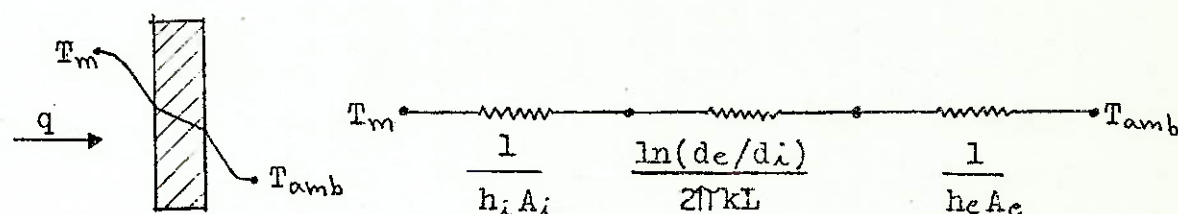


Figura 6. Analogia elétrica para a transmissão de calor

onde;

- h_i = coeficiente de película interno (convecção)
- A_i = superfície de transferência de calor interna
- q = fluxo de calor

- h_e = coeficiente de película externo
- A_e = superfície de transferência de calor externa
- k = condutividade térmica do material do tubo (condução)
- L = comprimento da serpentina

4.3.2 Cálculo do coeficiente de película interno

A referência [7] fornece a seguinte expressão para o cálculo do coeficiente de película referente a escoamento turbulento plenamente desenvolvido no interior de tubos lisos:

$$Nu_d = 0,023 Re_d^{0,8} Pr^n \quad (8)$$

Os números adimensionais são:

- Nu = Número de Nusselt
- Re = Número de Reynolds
- Pr = Número de Prandtl

As propriedades nesta equação são avaliadas à temperatura de mistura do fluido, e o expoente n assume os seguintes valores:

- $n=0,4$ para aquecimento
- $n=0,3$ para resfriamento

De acordo com as hipóteses feitas, as propriedades do biogás serão avaliadas à sua temperatura média de mistura na serpentina e à pressão máxima de trabalho do compressor:

$$T_m = \frac{200 + 40}{2} \implies T_m = 120^\circ C = 393^\circ K \quad (9)$$

As propriedades são encontradas nas tabelas do anexo A:

- z = fator de compressibilidade
- μ = viscosidade dinâmica
- k = condutividade térmica
- C_p = calor específico a pressão constante
- M = massa molecular

OBS.: os valores de μ , k e C_p são supostos não serem fortemente dependentes da pressão, podendo ser considerados constantes dentro da faixa utilizada.

Os valores encontrados estão tabelados abaixo (Tab.2).

GAS	z	μ (cp)	k (W/m°K)	Cp(cal/g°C)
CH ₄	0,9951	0,0136	0,048	0,6
CO ₂	0,9807	0,0184	0,0238	0,23

Tabela 2. Algumas propriedades dos gases componentes do biogás

As propriedades do biogás podem agora ser avaliadas a partir das propriedades de seus componentes, de acordo com algumas regras recomendadas por Perry [10]:

$$z = \sum_i y_i z_i \Rightarrow z = 0,9893 \quad (10)$$

$$\mu = \frac{\sum_i y_i \mu_i (M_i)^{1/2}}{\sum_i y_i (M_i)^{1/2}} \Rightarrow \mu = 0,0161 \text{ cp} = 1,61 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s} \quad (11)$$

$$k = \frac{\sum_i y_i k_i (M_i)^{1/3}}{\sum_i y_i (M_i)^{1/3}} \Rightarrow k = 0,0363 \text{ W/m°K} \quad (12)$$

$$C_p = \frac{\sum_i y_i C_{p_i} M_i}{\sum_i y_i M_i} \Rightarrow C_p = 0,36 \text{ cal/g°C} = 1,51 \text{ kJ/kg°C} \quad (13)$$

$$M = \sum_i y_i M_i \Rightarrow M = 27,228 \quad (\text{ver páginas 6 e 7}) \quad (14)$$

A densidade do biogás (ρ) será calculada a seguir pela seguinte equação de estado dos gases reais:

$$\rho = \frac{p M}{z \bar{R} T} = \frac{9,833 \times 10^4 \times 27,228}{0,9893 \times 847,7 \times 393} \quad (15)$$

$$\rho = 8,12 \text{ kg/m}^3$$

onde $\bar{R}=847,7 \text{ kgf m/kg mol}^\circ\text{K}$ é a constante universal dos gases.

A vazão e a velocidade podem ser calculadas pelas equações (4)

e (6):

$$Q = 0,75 \times 8,8 \times \frac{1,033 \times 393}{9,833 \times 303} \implies Q = 0,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = \frac{0,9}{3600 \times 0,001453} \implies V = 1,72 \text{ m/s}$$

O número de Reynolds valerá então:

$$Re_d = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{8,12 \times 1,72 \times 0,0136}{1,61 \times 10^{-5}} \quad (16)$$

$$Re_d = 11.798$$

Consequentemente, o escoamento é turbulento e a equação (8)

poderá ser utilizada no cálculo do coeficiente de película

interno. Para resfriamento, resulta:

$$Nu_d = 0,023 Re_d^{0,8} Pr^{0,3}$$

O número de Prandtl valerá:

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} = \frac{1,51 \times 10^3 \times 1,61 \times 10^{-5}}{0,0363} = 0,67 \quad (17)$$

Finalmente:

$$Nu_d = \frac{h_i d}{k} = 0,023 \times (11.798)^{0,8} \times (0,67)^{0,3} = 36,9$$

$$h_i = \frac{36,9 \times 0,0363}{0,0136} \implies h_i = 98,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

4.3.3 Cálculo do coeficiente de película externo

A referência [7] fornece a equação (18) para o cálculo do coeficiente de película médio em escoamento cruzado sobre cilindros:

$$Nu_d = C Re_d^n Pr^{1/3} \quad (18)$$

onde as constantes C e n dependem do número de Reynolds. As propriedades do fluido devem ser avaliadas à temperatura de filme.

A temperatura de parede do tubo será suposta como sendo igual à média aritmética entre a temperatura do gás e a temperatura ambiente, e a temperatura de filme do ar de ventilação será igual à média aritmética entre a temperatura de parede do tubo e a temperatura ambiente:

$$T_p = \frac{120 + 25}{2} \Rightarrow T_p = 72,5^\circ\text{C} = 345,5^\circ\text{K} \quad (19)$$

$$T_f = \frac{72,5 + 25}{2} \Rightarrow T_f = 48,8^\circ\text{C} = 321,8^\circ\text{K} \quad (20)$$

As propriedades do ar de ventilação são então retiradas da tabela A.8 (Anexo A):

$$k = 0,02789 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\nu = 18,55 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (\text{viscosidade cinemática})$$

$$Pr = 0,703$$

Calculando o número de Reynolds, supondo que o ar de ventilação possua uma velocidade de 6m/s:

$$Re_d = \frac{V d}{\nu} = \frac{6 \times 0,016}{18,55 \times 10^{-6}} = 5.175 \quad (21)$$

Em função deste valor obtém-se os valores das constantes da equação (18):

$$C = 0,193$$

$$n = 0,618 \quad (\text{da referência [7]})$$

Utilizando a equação (18), resulta:

$$Nu_d = \frac{h_e \times 0,016}{0,02789} = 0,193 \times (5.175)^{0,618} \times (0,703)^{1/3}$$

$$h_e = 59 \text{ W/m}^2\text{K}$$

4.3.4 Cálculo do calor perdido pelo biogás na serpentina

O calor perdido pelo biogás ao passar pela serpentina pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$q = \dot{m} C_p (T_2 - T_3) \quad (22)$$

onde

- q = calor perdido por unidade de tempo
- $\dot{m}$ = vazão em massa do biogás na serpentina
- T_2 = temperatura do biogás na entrada da serpentina
- T_3 = temperatura do biogás na saída da serpentina

A vazão em massa será calculada abaixo:

$$\dot{m} = Q \cdot \rho = \frac{0,9 \times 8,12}{3600} \implies \dot{m} = 2,03 \times 10^{-3} \text{ kg/s} \quad (23)$$

OBS.: a equação (22) considera ainda que o valor de C_p seja constante ao longo da serpentina.

Resulta:

$$q = 2,03 \times 10^{-3} \times 1,51 \times 10^3 \times (200 - 40)$$

$$q = 490,5 \text{ W}$$

4.3.5 Cálculo final do comprimento da serpentina

A quantidade de calor perdida pelo biogás durante sua passagem pela serpentina será igual à quantidade de calor

transferida ao exterior através da parede da mesma. Tal valor poderá ser calculado através da seguinte expressão:

$$q = \frac{T_m - T_{amb}}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(d_e/d_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_e A_e}} \quad (24)$$

O valor da condutividade térmica do material da serpentina pode ser encontrado no Anexo C:

$$k = 0,75 \text{ cal/s} \cdot \text{cm}^\circ\text{C} = 314 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

As áreas podem ser calculadas por:

$$\begin{aligned} A_i &= \pi d_i L \\ A_e &= \pi d_e L \end{aligned} \quad (25)$$

Resolvendo a equação (24), resulta:

$$L = 2,97 \text{ m}$$

Devido à existência de incertezas, inerentes ao próprio método de cálculo utilizado e às hipóteses e simplificações adotadas, será feita uma majoração de 10% sobre o valor calculado para o comprimento da serpentina:

$$\bar{L} = 1,1 \times 2,97$$

$$L = 3,3 \text{ m}$$

4.3.6 Especificação final do resfriador posterior

O resfriador posterior consistirá de um tubo de cobre, cujas características são fornecidas abaixo, enrolado em forma de espiral e resfriado com ar à velocidade de 6 m/s, fornecido por um ventilador.

Especificação do tubo da serpentina:

- material - cobre trefilado e recozido (sem costura), cujas propriedades físicas e mecânicas encontram-se no Anexo C

- fabricante - ELEMENTO
- diâmetro interno - 13,6 mm
- diâmetro externo - 16,0 mm
- comprimento - 3,3 m
- especificação - 3,3m TZ 160136

5. Processo de enchimento dos reservatórios

5.1 Considerações iniciais

Já foi explicado anteriormente como se dá e qual o objetivo do enchimento dos reservatórios com biogás sob pressão (ver páginas 21 e 23). Tratar-se-á agora de uma análise quantitativa de tal processo, procurando-se estimar qual será a quantidade de combustível armazenado em cada reservatório quando, em um enchimento ininterrupto, o compressor for desligado automaticamente assim que atingida sua pressão máxima de trabalho. Será feita também uma estimativa do tempo de duração do enchimento de um reservatório.

Além das hipóteses já formuladas nas páginas 24 e 25, mais algumas simplificações são assumidas nos cálculos que se seguem:

- o enchimento será admitido como adiabático, isto é, os reservatórios não trocarão calor com o exterior até que o compressor tenha se desligado. Convém ressaltar que esta hipótese coloca-se a favor da segurança, uma vez que, na verdade, os reservatórios poderão perder certa quantidade de calor durante o enchimento, diminuindo assim a temperatura do biogás em seus interiores; isto ocasionaria um crescimento mais lento da pressão, retardando o fim do processo e resultando em uma maior massa de gás armazenada;

- será assumido um comportamento de gás perfeito para o biogás;
- o biogás que entra no reservatório será suposto encontrar-se num estado médio, constante com o tempo - $p_e = 5 \text{ kgf/cm}^2 \text{ abs}$ e $T_e = 40^\circ \text{C} = 313^\circ \text{K}$ (pressão e temperatura médias à entrada do reservatório);
- a qualquer instante durante o enchimento, o estado da massa de gás armazenado será considerado como uniforme ao longo dos reservatórios.

5.2 Cálculo da energia armazenada em cada reservatório

Com base nas considerações feitas no item anterior, será feita uma estimativa da massa de combustível armazenada em cada reservatório ao final do processo de enchimento. É bom recordar que já são conhecidos o volume do reservatório, o estado inicial do biogás no interior do mesmo e a pressão ao final do processo, faltando então acabar-se a definição do estado final do biogás armazenado.

As hipóteses feitas anteriormente caracterizam um processo de enchimento em regime uniforme, definido pela referência [11]. Assim, para cada reservatório, a primeira lei da Termodinâmica toma a forma:

$$(m_2 - m_1) h_e = m_2 u_2 - m_1 u_1 \quad (26)$$

onde

- m_2 = massa de gás encontrada no reservatório ao final do enchimento;
- m_1 = idem, antes do enchimento;
- h_e = entalpia do biogás referente ao estado médio de entrada;
- u_2 = energia interna do biogás referente ao estado final do mesmo no interior do reservatório;
- u_1 = idem, referente ao estado inicial (antes do enchimento).

Valem também as seguintes equações:

$$m_1 v_1 = V \quad (27)$$

$$m_2 v_2 = V \quad (28)$$

$$h = C_p T \quad (29)$$

$$u = C_v T \quad (*) \quad (30)$$

onde v_1 e v_2 são os volumes específicos nos estados indicados pelos seus respectivos índices; V = volume de um reservatório.

A equação de estado dos gases perfeitos pode ser aplicada ao cálculo do volume específico inicial:

$$v_1 = \frac{R T_1}{M p_1} = \frac{847,7 \times 298}{27,228 \times 10330} \Rightarrow v_1 = 0,898 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (31)$$

Da equação (27):

$$m_1 = \frac{V}{v_1} = \frac{0,2}{0,898} \Rightarrow m_1 = 0,22 \text{ kg}$$

Os calores específicos a pressão constante (C_p) do metano e do gás carbônico serão calculados em função da temperatura, de acordo com as seguintes fórmulas [12]:

$$\overline{C}_{p_{\text{CH}_4}} = 5,34 + 0,0115 T \quad (32)$$

$$\overline{C}_{p_{\text{CO}_2}} = 10,34 + 0,00274 T - 195500 T^{-2} \quad (33)$$

onde $\overline{C}_p$ é dado em kcal/kmol $^\circ$ K.

Para $T_e = 313^\circ \text{K}$:

$$\overline{C}_{p_{\text{CH}_4}} = 8,94 \text{ kcal/kmol}^\circ \text{K}$$

$$\overline{C}_{p_{\text{CO}_2}} = 9,20 \text{ kcal/kmol}^\circ \text{K}$$

Fazendo-se a composição das propriedades segundo a fórmula (13), resulta (lembrar que os valores calculados acima já estão na base molar) para o biogás:

$$\overline{C}_{p_e} = 0,6 \times 8,94 + 0,4 \times 9,20 \Rightarrow \overline{C}_{p_e} = 9,04 \text{ kcal/kmol}^\circ \text{K}$$

$$C_{p_e} = 9,04 \times 4,19 / 27,228 \Rightarrow C_{p_e} = 1,39 \text{ J/g}^\circ \text{K}$$

(*) C_v = calor específico a volume constante

Analogamente, para $T_1 = 298^\circ\text{K}$:

$$C_{p_1} = 1,36 \text{ J/g}^\circ\text{K}$$

Ainda para o estado 1, calcula-se o calor específico a volume constante através da equação:

$$C_v = C_p - R \quad (34)$$

$$C_{v_1} = 1,36 \times 10^3 - \frac{847,7 \times 9,81}{27,228} \Rightarrow C_{v_1} = 1,055 \text{ J/g}^\circ\text{K}$$

Uma análise das equações e resultados escritos acima demonstram agora que as únicas incógnitas que ainda permanecem na equação (26) são m_2 e u_2 , que podem ser expressas em função de T_2 através das equações (28), (30), (31), (32), (33), (13), (34), todas elas aplicadas ao estado 2. A resolução da equação (26) fornece então:

$$T_2 = 358^\circ\text{K} = 85^\circ\text{C}$$

Obtém-se então de (28) e da equação de estado dos gases perfeitos:

$$v_2 = \frac{847,7 \times 358}{27,228 \times 9,833 \times 10^4} \Rightarrow v_2 = 0,113 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$m_2 = \frac{0,2}{0,113} \Rightarrow m_2 = 1,77 \text{ kg}$$

A massa de combustível disponível para ser queimada nos motores corresponde à diferença:

$$m' = m_2 - m_1 = 1,77 - 0,22 \Rightarrow m' = 1,55 \text{ kg}$$

A massa m' ocupa o volume V' sob as condições ambientes:

$$V' = m' v_1 = 1,55 \times 0,898 \Rightarrow V' = 1,39 \text{ m}^3$$

A partir do valor do consumo de biogás utilizado como combustível em motores (ver página 4), calcula-se a energia mecânica disponível nas motobombas:

$$E = \frac{1,39 \text{ m}^3}{0,425 \text{ m}^3/\text{HP} \cdot \text{h}} \implies E = 3,27 \text{ HP h}$$

onde E é a energia mecânica gerada nas motobombas a partir do biogás disponível em 1 reservatório.

O tempo gasto para o enchimento de um reservatório será agora calculado em função da vazão de biogás medida na entrada do compressor; esta vazão inicia o processo com um valor máximo, calculado pela equação (3), decrescendo a seguir. A favor da segurança, adotar-se-á como valor médio o valor final da vazão, correspondente a um rendimento volumétrico de 75% (ver página 26). Portanto, o tempo de enchimento será:

$$t = \frac{1,39 \times 60}{8,8 \times 0,75} \implies t = 12,6 \text{ minutos}$$

As especificações técnicas do projeto dizem que o consumo diário de energia nas motobombas é de 16 HP h (ver página 16). Assim, pode-se calcular o número de reservatórios consumidos por dia:

$$\frac{16}{3,27} = 4,9 \implies 5 \text{ reservatórios/dia}$$

6. Dimensionamento do biodigestor

6.1 Consumo diário de biogás

O consumo de biogás será estimado de acordo com os valores fornecidos na página 4 deste trabalho.

6.1.1 Para a cocção, visando ao atendimento da necessidade imposta nas especificações técnicas (página 16):

consumo = 5 famílias x 5 $\frac{\text{pessoas}}{\text{família}}$ x 0,227 m³/pessoa dia

consumo = 5,7 m³/dia

6.1.2 Para a geração de energia mecânica:

consumo = 16 HP h/dia x 0,425 m³/HP h

consumo = 6,8 m³/dia

6.1.3 Consumo total:

consumo = 5,7 + 6,8

consumo = 12,5 m³/dia

6.2 Determinação do tamanho do biodigestor

De acordo com a tabela 1 (página 11), será selecionado um biodigestor de 15 m³, consumindo o esterco produzido por 25 a 30 cabeças de gado estabuladas (por dia).

VII - ANÁLISE ECONÔMICA DO PROJETO

7.1 Introdução

Uma vez definida a instalação em seus aspectos físicos e técnicos principais, passa-se agora à sua análise sob o ponto de vista econômico. Isto faz-se necessário, uma vez que a decisão de se efetivar o projeto, com o seu detalhamento e implantação, só é possível a partir da comprovação da viabilidade econômica do mesmo. Será então feita uma análise de custos e benefícios advindos da concretização da instalação, terminando com o cálculo do prazo de retorno do capital investido. As seguintes hipóteses são adotadas para este cálculo:

- receitas e custos sobem igualmente com a taxa inflacionária;
- para efeito de cálculo, a vida útil do equipamento será considerada igual a 10 anos, com valor residual nulo;
- as alíquotas de imposto de renda sobre a economia bruta e de abatimento no imposto de renda pela depreciação serão consideradas iguais a 35% (para uma fazenda, tal valor pode estar superestimado);
- é considerada uma taxa de juros de mercado igual a 12% ao ano.

Os valores dos custos foram pesquisados no mês de novembro de 1985, quando a ORTN valia Cr\$ 63.547,22. Serão apenas computados os benefícios oriundos da economia de combustíveis (GLP e gasolina), conseguida com a substituição pelo biogás.

7.2 Investimento

O investimento necessário para a construção da instalação encontra-se na tabela abaixo.

EQUIPAMENTO	INVESTIMENTO (Cr\$)
Biodigestor	13.500.000
Compressor	3.000.000
Ventilador	700.000
2 reservatórios de 200 l cada	2.700.000
Mão-de-obra	3.000.000
Outros (*)	3.000.000
Total	25.900.000

Tabela 3. Investimento inicial

(*) tubulação e acessórios, filtros, instrumentação, controle,...

7.3 Economia de combustível

7.3.1 Economia conseguida nos motores

- consumo de biogás = $6,8 \text{ m}^3/\text{dia}$ (ver página 41)
- equivalência dos combustíveis (da referência [1])

$$1 \text{ m}^3 \text{ de biogás} \Leftrightarrow 0,613 \text{ l de gasolina}$$

- preço de um litro de gasolina = Cr\$ 3.130
- cálculo da economia mensal, em cruzeiros

$$E = 6,8 \times 30 \times 0,613 \times 3130$$

$$E = \text{Cr\$ } 391.413 / \text{ mês}$$

7.3.2 Economia conseguida nos fogões

- consumo de biogás = $5,7 \text{ m}^3/\text{dia}$
- equivalência dos combustíveis
 $1 \text{ m}^3 \text{ de biogás} \iff 0,454 \text{ kg GLP}$
- custo do GLP = Cr\$ 23.000/13kg
- cálculo da economia mensal, em cruzeiros
 $E = 5,7 \times 30 \times 0,454 \times 23.000/13$
 $E = \text{Cr\$ } 137.352/\text{mês}$

7.3.3 Economia total

$$E = 391.413 + 137.352$$
$$E = \text{Cr\$ } 528.765$$

7.4 Custo operacional

7.4.1 Custo com energia elétrica

- potências dos motores elétricos
 - compressor 1 CV
 - ventilador 1/8 CV (estimada)
- rendimento dos motores = 0,8 (estimado)
- tempo de funcionamento dos equipamentos - equivalente ao enchimento de 5 reservatórios (ver página 40)
 $t = 5 \times (12,6/60) \times 30$
 $t = 31,5 \text{ h/mês}$
- custo da energia (rural) = Cr\$ 286,63/kWh (tarifa de consumo mais empréstimo compulsório)
- gasto mensal com energia elétrica
 $CO = ((1 + 1/8) \times 0,7355 / 0,8) \times 31,5 \times 286,63$
 $CO = \text{Cr\$ } 9.339/\text{mês}$

7.4.2 Custo operacional total

Considerando-se ainda os custos de manutenção da instalação e mais alguns custos eventuais, o custo operacional total será estimado em Cr\$ 50.000/mês.

7.5 Cálculo do prazo de retorno do investimento [13]

- Economia bruta (EB)

$$EB = E - CO = 528.765 - 50.000$$

$$EB = \text{Cr\$ } 478.765/\text{mês}$$

- Imposto de renda sobre a economia bruta (IR)

$$IR = 0,35 \text{ EB} = 0,35 \times 478.765$$

$$IR = \text{Cr\$ } 167.568/\text{mês}$$

- Depreciação (D)

$$D = (I - VR)/VU, \text{ onde}$$

• I = investimento

• VR = valor residual

• VU = vida útil

$$D = (25,9 \times 10^6 - 0)/120$$

$$D = \text{Cr\$ } 215.833/\text{mês}$$

- Abatimento de imposto de renda pela depreciação (AIR)

$$AIR = 0,35 D = 0,35 \times 215.833$$

$$AIR = \text{Cr\$ } 75.542/\text{mês}$$

- Economia líquida mensal (EL)

$$EL = (EB - IR) + AIR = (478.765 - 167.568) + 75.542$$

$$EL = \text{Cr\$ } 386.739/\text{mês}$$

- Cálculo do prazo de retorno (PR) - será feito com o auxílio da Tabela Price, considerando-se ainda que exista um período

de carência de dois meses (tempo compreendido entre a realização do investimento e o início da produção do biogás). Sendo a taxa de juros igual a 12% ao ano, resulta:

$$PR = 9 \text{ anos}$$

7.6 Conclusão

Considerando-se o prazo de retorno do investimento, acima calculado, e o fato de que apenas alguns dos benefícios oriundos da execução do projeto foram computados neste cálculo, pode-se dizer então que o projeto é viável economicamente.

B I B L I O G R A F I A

- [1] - Ferraz, J.M.G. e Marriel, I.E.; Biogás: uma fonte alternativa de energia, EMBRAPA/CNPMS (Circular técnica, 3), Sete Lagoas, 1980.
- [2] - Seixas, J.; Construção e Funcionamento de Biodigestores, EMBRAPA - DID (EMBRAPA - CPAC, Circular Técnica, 4), Brasília, jan. 1981.
- [3] - Barnett, A., Pyle, L. e Subramanian, S.K.; Biogas Technology in the Third World: A Multidisciplinary Review, Ottawa, 1978.
- [4] - Nielsen, M.J.; Utilização do gás metano proveniente da purificação do gás de esgoto - I parte, Energia - Fontes Alternativas, vol. V, nº 27/28, pp. 12-20, 1983.
- [5] - Nielsen, M.J.; Utilização do gás metano proveniente da purificação do gás de esgoto - II parte, Energia - Fontes Alternativas, vol.V, nº 29/30, pp. 20-27, 1983.
- [6] - Silva, R.B.; Compressores, bombas de vácuo e ar comprimido, 2ª edição, Grêmio Politécnico, São Paulo, 1980.
- [7] - Holman, J.P.; Transferência de calor, McGraw-Hill, São Paulo, 1983.
- [8] - Kreith, F.; Princípios da transmissão de calor, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 1977.
- [9] - Atlas Copco; Manual de instalação de compressores, São Paulo, 1974.

- [10] - Perry, R.H. e Chilton, C.H.; Chemical Engineers' Handbook;
5ª edição.
- [11] - Van Wylen, G.J. e Sonntag, R.E.; Fundamentos da Termodinâmica clássica, 2ª ed., Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 1976.
- [12] - Silva, R.B.; Manual de Termodinâmica e Transmissão de Calor, 6ª edição, Grêmio Politécnico, São Paulo, 1980.
- [13] - IPT; Uso racional de energia na indústria - Caso típico nº 1, São Paulo, maio 1983.

A N E X O A

T A B E L A S

Substância	Fórmula	Peso Molecular	Temperatura		Pressão		Volume, pés ³ /lb ^{mol}
			°K	°R	atm	lb ² /pol ²	
Amônia	NH ₃	17,03	405,5	729,8	1,13	1836	1,16
Argônio	Ar	39,944	151	272	48,0	705	1,20
Bromo	Br ₂	159,832	584	1052	102	1500	2,17
Dióxido de Carbono	CO ₂	44,01	304,2	547,5	72,9	1071	1,51
Monóxido de Carbono	CO	28,01	133	240	34,5	507	1,49
Cloro	Cl ₂	70,914	417	751	76,1	1120	1,99
Deutério (Normal)	D ₂	4,00	38,4	69,1	16,4	241	...
Hélio	He	4,003	5,3	9,5	2,26	33,2	0,926
Hélio ³	He	3,00	3,34	6,01	1,15	16,9	...
Hidrogênio (Normal)	H ₂	2,016	33,3	59,9	12,8	188,1	1,04
Criptônio	Kr	83,7	209,4	376,9	54,3	798	1,48
Neônio	Ne	20,183	44,5	80,1	26,9	395	0,668
Nitrogênio	N ₂	28,016	126,2	227,1	33,5	492	1,44
Oxido Nitroso	N ₂ O	44,02	309,7	557,4	71,7	1054	1,54
Oxigênio	O ₂	32,00	154,8	278,6	50,1	736	1,25
Dióxido de enxofre	SO ₂	64,06	430,7	775,2	77,8	1143	1,95
Água	H ₂ O	18,016	647,4	1165,3	218,3	3208	0,90
Xenônio	Xe	131,3	289,75	521,55	58,0	852	1,90
Benzeno	C ₆ H ₆	78,11	562	1012	48,6	714	4,17
Butano-n	C ₄ H ₁₀	58,120	425,2	765,2	37,5	551	4,08
Tetracloreto de carbono	CCl ₄	153,84	556,4	1001,5	45,0	661	4,42
Clorofórmio	CHCl ₃	119,39	536,6	965,8	54,0	794	3,85
Diclorodifluorometano	CCl ₂ F ₂	120,92	384,7	692,4	39,6	582	3,49
Diclorofluorometano	CHCl ₂ F	102,93	451,7	813,0	51,0	749	3,16
Etano	C ₂ H ₆	30,068	305,5	549,8	48,2	708	2,37
Álcool etílico	C ₂ H ₅ OH	46,07	516,0	929,0	63,0	926	2,68
Etileno	C ₂ H ₄	28,052	282,4	508,3	50,5	742	1,99
Hexano-n	C ₆ H ₁₄	86,172	507,9	914,2	29,9	439	5,89
Metano	CH ₄	16,042	191,1	343,9	45,8	673	1,59
Álcool metílico	CH ₃ OH	32,04	513,2	923,7	78,5	1154	1,89
Cloreto metílico	CH ₃ Cl	50,49	416,3	749,3	65,9	968	2,29
Propano	C ₃ H ₈	44,094	370,0	665,9	42,0	617	3,20
Propeno	C ₃ H ₆	42,078	365,0	656,9	45,6	670	2,90
Propino	C ₃ H ₄	40,062	401	722	52,8	776	...
Triclorofluorometano	CCl ₃ F	137,38	471,2	848,1	43,2	635	3,97

* K. A. Kobe e R. E. Lynn, Jr., Chem. Rev. 52, 117-236 (1953).

Tabela A.1. Constantes críticas (da referência [11])

Gás	Fórmula Química	Peso Molecular	R kgf · m	C _{po} kcal/kg·°K	C _{vo} kcal/kg·°K	k
Ar	...	28,97	29,27	0,240	0,171	1,400
Argônio	Ar	39,94	21,29	0,1253	0,0756	1,667
Butano	C ₄ H ₁₀	58,124	14,59	0,415	0,381	1,09
Dióxido de Carbono	CO ₂	44,01	19,27	0,203	0,158	1,285
Monóxido de Carbono	CO	28,01	30,27	0,249	0,178	1,399
Etano	C ₂ H ₆	30,07	28,20	0,427	0,361	1,183
Etileno	C ₂ H ₄	28,054	30,23	0,411	0,340	1,208
Hélio	He	4,003	211,8	1,25	0,753	1,667
Hidrogênio	H ₂	2,016	420,6	3,43	2,44	1,404
Metano	CH ₄	16,04	52,87	0,532	0,403	1,32
Neônio	Ne	20,183	42,02	0,246	0,1477	1,667
Nitrogênio	N ₂	28,016	30,27	0,248	0,177	1,400
Octano	C ₈ H ₁₈	114,22	7,42	0,409	0,392	1,044
Oxigênio	O ₂	32,000	26,50	0,219	0,157	1,395
Propano	C ₃ H ₈	44,097	19,23	0,407	0,362	1,124
Vapor d'água	H ₂ O	18,016	47,07	0,445	0,335	1,329

* C_{po}, C_{vo} e k são a 26,7 °C.

Tabela A.2. Propriedades de alguns gases perfeitos (da ref. [11])

Compressibility Factors for Methane*

Temp., °K.	Pressure, bars										
	1	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500
100	0.0011	0.0219	0.0137	0.0574	0.1711	0.2604	0.3159	0.1113	0.5198	1.2585	2.0192
150	0.0556	0.9243	0.8333	0.0708	0.1101	0.2078	0.2748	0.3105	0.6573	0.9602	1.5159
200	0.0937	0.9682	0.9350	0.5629	0.6538	0.3755	0.3218	0.3657	0.6148	0.8561	1.3145
250	0.0972	0.9811	0.9678	0.5356	0.8691	0.8035	0.7403	0.6889	0.6973	0.8593	1.2172
300	0.9992	0.9915	0.9828	0.9063	0.9342	0.9042	0.8773	0.8548	0.8280	0.9140	1.0117
350	0.9958	0.9954	0.9905	0.9821	0.9657	0.9513	0.9390	0.9293	0.9226	0.9775	1.0678
400	0.9995	0.9976	0.9957	0.9908	0.9833	0.9771	0.9721	0.9691	0.9783	1.0258	1.1821
450	0.9999	0.9996	0.9991	0.9965	0.9941	0.9923	0.9917	0.9922	1.0128	1.0577	1.1916
500	1.0000	1.0000	1.0000	1.0003	1.0009	1.0021	1.0043	1.0068	1.0335	1.0780	1.1990
600	1.0002	1.0010	1.0021	1.0040	1.0083	1.0128	1.0175	1.0227	1.0555	1.0989	1.2049
700	1.0003	1.0014	1.0028	1.0061	1.0116	1.0177	1.0237	1.0298	1.0646	1.1056	1.2023
800	1.0005	1.0017	1.0034	1.0068	1.0130	1.0198	1.0264	1.0331	1.0680	1.1071	1.2056
900	1.0007	1.0018	1.0036	1.0071	1.0137	1.0206	1.0274	1.0340	1.0686	1.1056	1.2057
1000	1.0009	1.0014	1.0036	1.0072	1.0142	1.0208	1.0275	1.0342	1.0678	1.1033	1.2090

*Computed from pressure-volume-temperature tables in Zagoruchenko and Zhuravlev, "Thermophysical Properties of Gaseous and Liquid Methane," Moscow, 1969, and NBS NSF TT 70-50097, 1970 translation. The original tables commence at 95° K. and extend to 1000 bars.

Tabela A.3. Fatores de compressibilidade do metano (da referência [10])

Compressibility Factors for Carbon Dioxide*

Temp., °C.	Pressure, bars										
	1	5	10	20	40	60	80	100	200	300	500
0	0.9933	0.9638	0.9291	0.8486							
50	0.9961	0.9805	0.9607	0.9195	0.8300	0.7264	0.5951	0.4239			
100	0.9977	0.9883	0.9764	0.9524	0.9034	0.8513	0.8022	0.7514	0.5891	0.6420	
150	0.9985	0.9927	0.9853	0.9705	0.9116	0.9131	0.8851	0.8590	0.7651	0.7623	0.9098
200	0.9991	0.9953	0.9908	0.9818	0.9640	0.9473	0.9313	0.9170	0.8619	0.8619	0.9621
250	0.9994	0.9971	0.9943	0.9886	0.9783	0.9684	0.9593	0.9511	0.9253	0.9291	0.9508
300	0.9996	0.9982	0.9967	0.9936	0.9875	0.9822	0.9773	0.9733	0.9640	0.9716	1.0161
350	0.9998	0.9991	0.9983	0.9964	0.9938	0.9911	0.9886	0.9862	0.9845	1.0055	1.0340
400	0.9999	0.9997	0.9991	0.9989	0.9982	0.9979	0.9979	0.9981	1.0073	1.0266	1.0559
450	1.0000	1.0000	1.0003	1.0005	1.0013	1.0023	1.0038	1.0056	1.0070	1.0112	1.0709
500	1.0000	1.0001	1.0005	1.0015	1.0035	1.0056	1.0079	1.0107	1.0282	1.0522	1.0820
600	1.0000	1.0007	1.0013	1.0030	1.0062	1.0093	1.0129	1.0168	1.0386	1.0618	1.0918
700	1.0003	1.0010	1.0017	1.0036	1.0073	1.0101	1.0135	1.0168	1.0436	1.0707	1.1080
800	1.0002	1.0009	1.0019	1.0040	1.0082	1.0122	1.0168	1.0212	1.0458	1.0731	1.1016
900	1.0002	1.0009	1.0020	1.0041	1.0083	1.0128	1.0171	1.0221	1.0463	1.0726	1.1012
1000	1.0002	1.0009	1.0021	1.0042	1.0084	1.0128	1.0172	1.0218	1.0460	1.0725	1.1024

*Calculated from density-pressure-temperature data in Vukobratovich and Altunin, "Thermophysical Properties of Carbon Dioxide," Atomizdat, Moscow, 1965, and Collet's, London, 1968, translation.

Tabela A.4. Fatores de compressibilidade do dióxido de carbono (ref. [10])

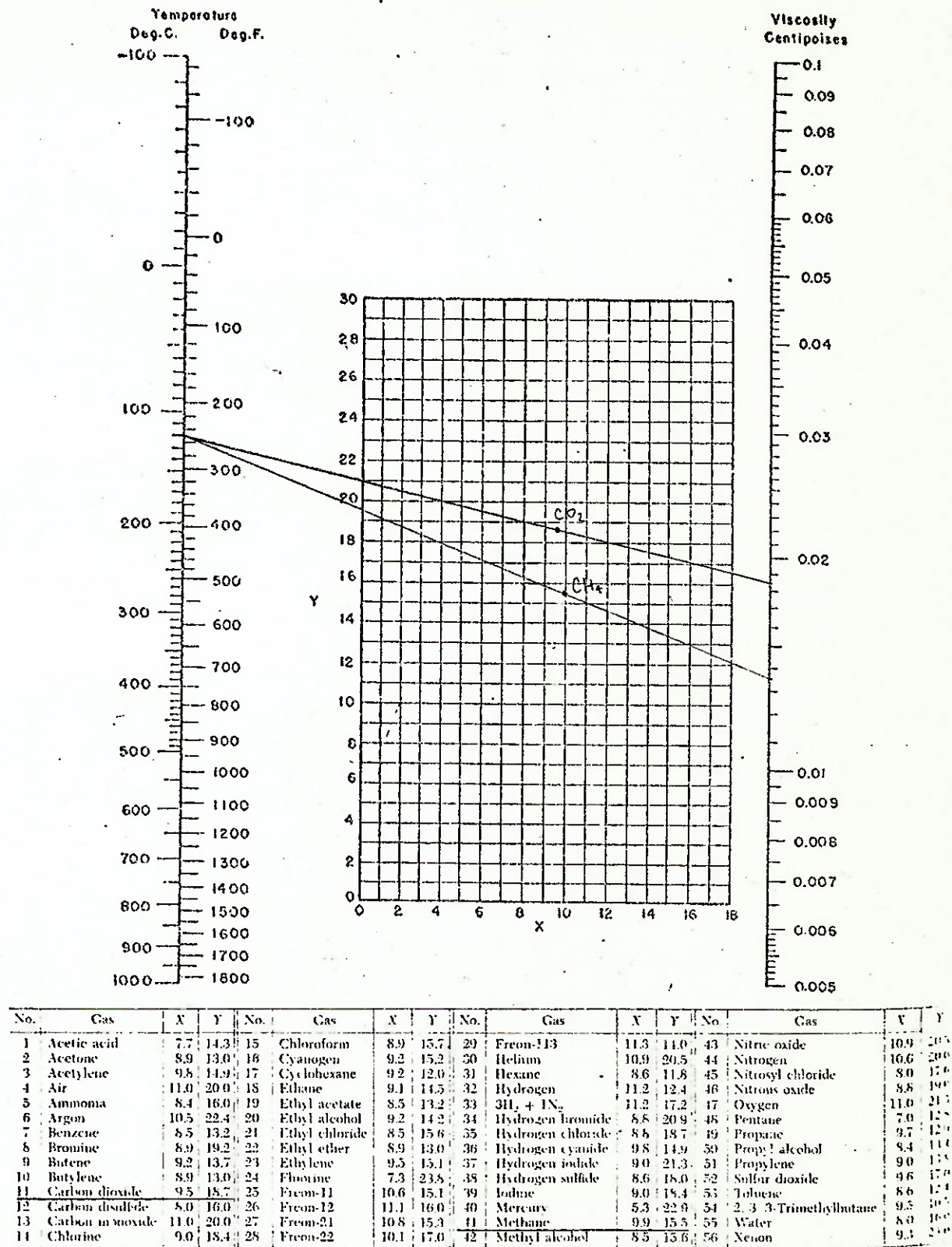


Tabela A.5. Viscosidades de alguns gases a 1 atm (ref. [10])

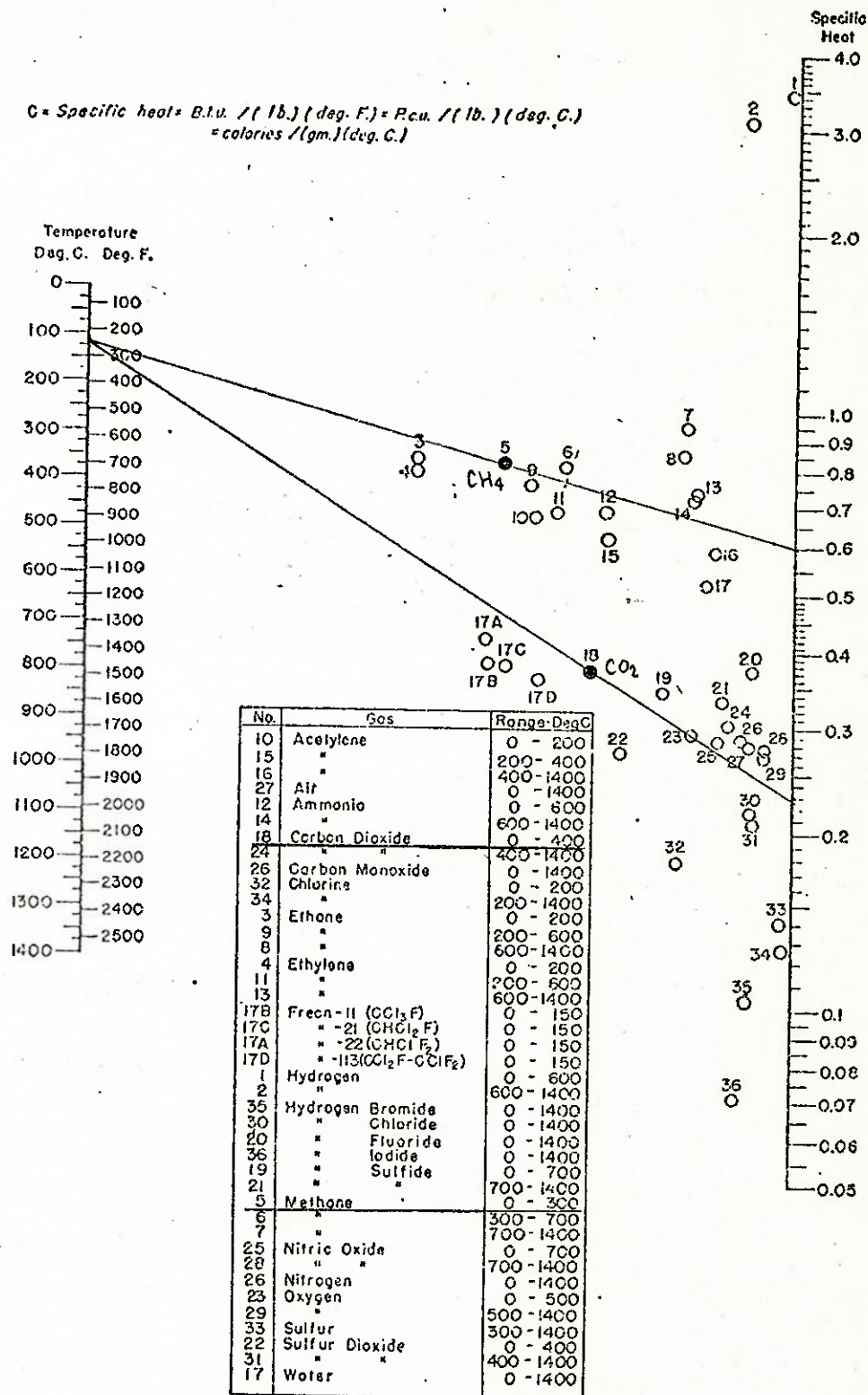


Tabela A.6. Calores específicos (C_p) de alguns gases a 1 atm de pressão (ref. [10])

To obtain conductivity in watts (m.)²/K. multiply by 10⁻¹

Temp. °K.	Substance														
	Air	NH ₃	Ar	CCl ₄	CO ₂	C ₂ H ₆	He	H ₂	Kr	CH ₄	Ne	N ₂	O ₂	H ₂ O	Xe
100	0.93	...	0.66	...	...	...	7.2	6.7	...	1.08	2.19	0.96	0.93	...	...
150	1.38	...	0.96	...	...	...	9.5	10.1	0.50	1.84	3.01	1.39	1.38	...	...
200	1.80	1.53	1.26	...	0.94	...	11.5	13.1	0.68	2.17	3.62	1.83	1.53	...	0.48
250	2.21	1.96	1.52	...	1.30	...	13.4	15.7	0.80	2.75	4.29	2.22	2.26	...	0.48
300	2.62	2.47	1.77	0.69	1.66	2.15	15.1	18.3	1.00	3.42	4.89	2.59	2.66	61	0.58
350	3.00	3.04	2.00	0.85	2.01	2.84	16.6	20.4	1.13	4.00	5.46	2.93	2.98	67	0.66
400	3.38	3.70	2.22	1.01	2.43	3.56	18.4	22.5	1.26	4.93	6.01	3.27	3.30	2.66	0.74
450	3.73	4.40	2.44	1.16	2.83	4.36	20.1	24.7	1.38	5.79	6.53	3.59	3.61	3.10	0.82
500	4.07	5.25	2.68	1.30	3.25	...	21.8	26.6	1.51	6.68	7.03	3.89	4.12	3.58	0.90
600	4.69	6.70	3.07	1.44	4.07	...	25.0	30.5	1.75	8.52	7.97	4.46	4.73	4.63	1.05
700	5.24	...	3.41	1.58	4.81	...	27.8	34.2	1.98	10.16	8.86	4.98	5.28	5.81	1.20
800	5.73	...	3.74	...	5.51	...	30.4	37.5	2.21	...	9.71	5.48	5.89	7.08	1.35
900	6.20	...	4.06	...	6.18	...	33.0	41.2	2.42	...	10.53	5.97	6.49	6.41	1.49
1000	6.67	...	4.4	...	6.82	...	35.4	44.8	2.62	...	11.34	6.47	7.10	9.78	1.64
1200	7.65	...	4.9	...	8.0	...	40.5	52.8	2.98	...	12.16	7.6	8.2	...	1.95

* Condensed from Vargaftik *et al.*, "Heat Conductivity of Gases and Liquids," FTD-MT-24 133 71 (AD 736903), 1971. The Russian original appeared in 1970. This source contains 256 references. For elements in solid, liquid, or gaseous state see Ho, Powell, and Liley, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 1, 279 (1972). A compilation for refrigerants appears in Table 15, Chap. 14 of the 1972 A.S.H.R.A.E. "Fundamentals." For other substances and for mixtures see Tooloukian, Liley, and Saxena, TPRG Data Series, vol. 3, Plenum, New York, 1970; Angerhofer and Hanley, *NBS. Rept.* 10700, p. 43 1971, give pressure effect tables for nine fluids. An extensive collection for organic fluids was given by Missenard, *Chim. Phys.*, (2), Paris, 1971. 1 watt/(m.)²/°K. = 0.569 kcal/(m.)²/hr.°K. = 0.00239 cal/(cm.)²/sec. (°K.) = 0.5782 B.t.u./ft.²/hr.°F. H.Y. Chang [*Chem. Eng.*, 80(9) 122-123 (1973)] gives a nomograph for the variation with temperature of the thermal conductivity of 46 gases at atmospheric pressure. Reference 6 of this paper was actually published as a 237-page report in 1973.

Tabela A.7. Condutividade térmica de alguns gases (ref. [10])

Os valores de μ , k , c_p e Pr não são fortemente dependentes da pressão e podem ser usados para uma faixa razoavelmente extensa de pressões.

T, K	ρ kg/m ³	c_p kJ/ kg·°C	μ kg/m·s × 10 ⁶	ν m ² /s × 10 ⁶	k W/ m·°C	α m ² /s × 10 ⁶	Pr
100	3,6010	1,0266	0,6924	1,923	0,009246	0,02501	0,770
150	2,3675	1,0099	1,0283	4,343	0,013735	0,05745	0,753
200	1,7684	1,0061	1,3289	7,490	0,01809	0,10165	0,739
250	1,4128	1,0053	1,488	9,45	0,02227	0,13161	0,722
300	1,1774	1,0057	1,983	16,84	0,02624	0,22160	0,708
350	0,9980	1,0090	2,075	20,76	0,03003	0,2983	0,697
400	0,8826	1,0140	2,286	25,90	0,03365	0,3760	0,689
450	0,7833	1,0207	2,484	31,71	0,03707	0,4222	0,683
500	0,7048	1,0295	2,671	37,90	0,04038	0,5564	0,680
550	0,6423	1,0392	2,848	44,34	0,04360	0,6532	0,680
600	0,5879	1,0551	3,018	51,34	0,04659	0,7512	0,680
650	0,5430	1,0635	3,177	58,51	0,04953	0,8578	0,682
700	0,5030	1,0752	3,332	66,25	0,05230	0,9672	0,684
750	0,4709	1,0856	3,481	73,91	0,05509	1,0774	0,686
800	0,4405	1,0978	3,625	82,29	0,05779	1,1951	0,689
850	0,4149	1,1095	3,765	90,75	0,06028	1,3097	0,692
900	0,3925	1,1212	3,899	99,3	0,06279	1,4271	0,696
950	0,3716	1,1321	4,023	108,2	0,06525	1,5510	0,699
1000	0,3524	1,1417	4,152	117,8	0,06752	1,6779	0,702
1100	0,3204	1,160	4,44	138,6	0,0732	1,969	0,704
1200	0,2947	1,179	4,69	159,1	0,0782	2,251	0,707
1300	0,2707	1,197	4,93	182,1	0,0837	2,583	0,705
1400	0,2515	1,214	5,17	205,5	0,0891	2,920	0,705
1500	0,2355	1,230	5,40	229,1	0,0946	3,262	0,705
1600	0,2211	1,248	5,63	254,5	0,100	3,609	0,705
1700	0,2082	1,267	5,85	280,5	0,105	3,977	0,705
1800	0,1970	1,287	6,07	308,1	0,111	4,379	0,704
1900	0,1858	1,309	6,29	338,5	0,117	4,811	0,704
2000	0,1762	1,338	6,50	369,0	0,124	5,260	0,702
2100	0,1682	1,372	6,72	399,6	0,131	5,715	0,700
2200	0,1602	1,419	6,93	432,6	0,139	6,120	0,707
2300	0,1538	1,482	7,14	464,0	0,149	6,540	0,710
2400	0,1458	1,574	7,35	504,0	0,161	7,020	0,718
2500	0,1394	1,688	7,57	543,5	0,175	7,441	0,730

† Do Natl. Bur. Stand. (U.S.) Circ. 564, 1955.

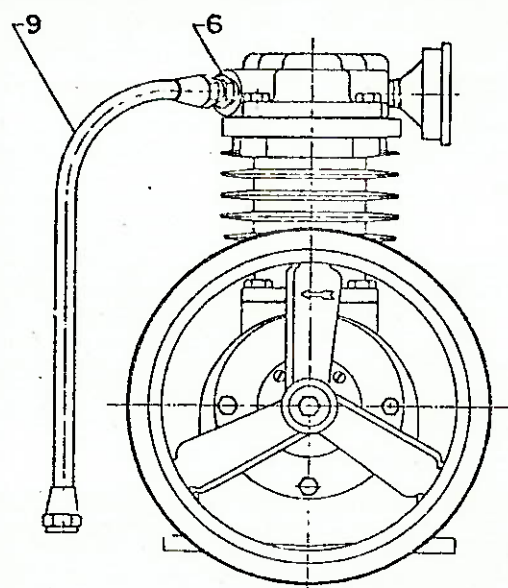
Tabela A.8. Propriedades do ar à pressão atmosférica (ref. [7])

A N E X O B

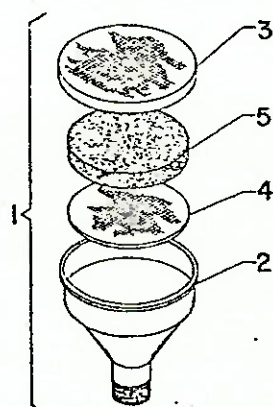
C A T Á L O G O D O C O M P R E S S O R

UNIDADES COMPRESSORAS

MOD. W-2,6 SD & W-5,2 SD

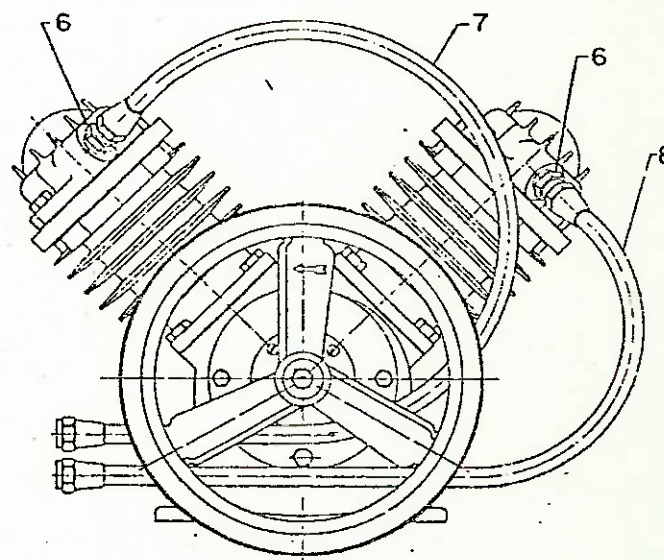


W - 2,6 SD



FILTRO DE AR

ITEM	QUANT.		Nº PEÇA	DESCRIÇÃO
	W-2,6	W-5,2		
1	1	2	CA-2525	Filtro Completo
2	1	2	CA-2526	Corpo
3	1	2	CA-2527	Tampa
4	1	2	CA-2528	Apolo
5	1	2	CA-2529	Elemento Filtrante
6	1	2	CA-2536	Niple de Compressão
7	—	1	CA-3264	Serpentina nº 1
8	—	1	CA-3265	Serpentina nº 2
9	1	—	CA-3282	Serpentina

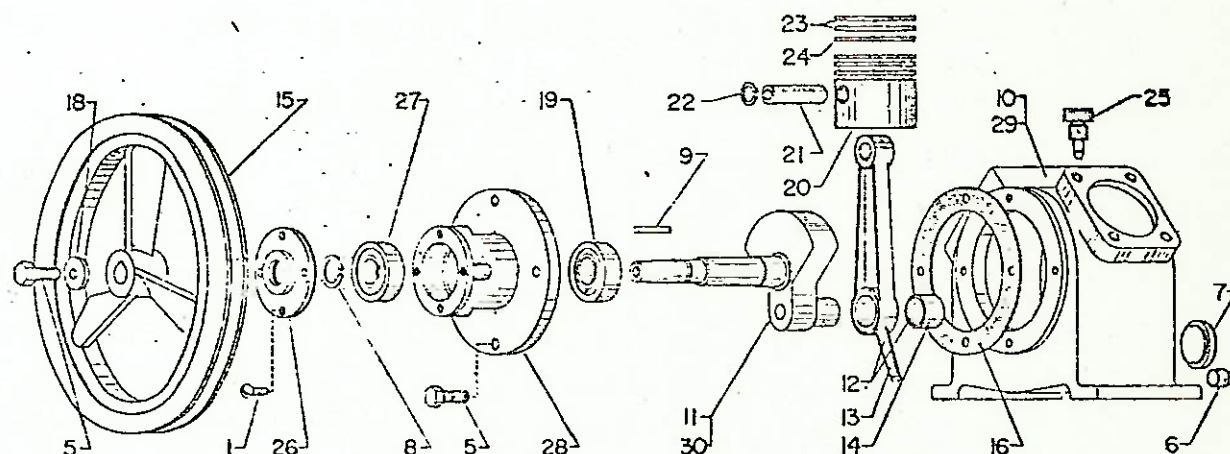
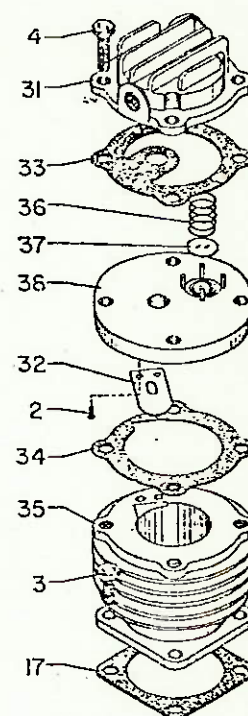


W - 5,2 SD

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	W-2,5 SD (1 cil.)	W-5,2 SD (2 cil.)
Diâmetro Pistão	50,8 mm	50,8 mm
Curso Pistão	52 mm	52 mm
Cilindrada	105 cm³	210 cm³
Deslocamento	4,5 m³ /h	9,0 m³ /h
Máx. RPM — 8,8 kgf/m²	710	710
Máx. RPM — 7,0 kgf/m²	630	—
Min. RPM	450	450
Veloc. Linear m/seg.	rpm x 0,00173	rpm x 0,00173
Diâm. Prim. Volante	203,6 mm	203,6 mm
Óleo - Capac. do Carter	0,22 litro	0,22 litro
Óleo — Tipo	NÃO DETERGENTE COM INIBIDORES DE OXIDAÇÃO E FERRUGEM. VISC. SSU A 100 °F 490-600.	

DIMENSÕES/PESO	W-2,6 SD	W-5,2 SD
Comprimento	230 mm	230 mm
Largura	270 mm	350 mm
Altura	320 mm	320 mm
Cubagem	0,02 m³	0,03 m³
Peso Líquido	13,0 kg	14,0 kg
Peso Bruto	13,2 kg	14,2 kg

ITEM	QUANTIDADE		Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO
	W - 2,6	W - 5,2		
1	4	4	507088	Parafuso
2	2	4	507166	Parafuso
3	4	8	507284	Parafuso
4	4	8	507286	Parafuso
5	8	5	507295	Parafuso
6	1	1	508611	Brjão
7	1	1	AC-11628	Visor do Óleo
8	1	1	CA-1204	Anel Elástico
9	2	1	CA-1217	Chaveta
10	1	—	CA-2501	Carter
11	1	—	CA-2502	Virabrequim
12	2	2	CA-2507	B'ela c/Bucha
13	1	2	CA-2508	Blela
14	1	2	CA-2509	Bucha
15	1	1	CA-2510	Volante
16	1	1	CA-2513	Junta
17	1	2	CA-2514	Junta
18	1	1	CA-2517	Arruela
19	1	1	CA-2518	Rolamento
20	1	2	CA-2519	Pistão
21	1	2	CA-2520	Pino
22	2	4	CA-2521	Anel Elástico
23	2	4	CA-2522	Anel Compressão
24	1	2	CA-2523	Anel Óleo
25	1	1	CA-2524	Bujão de Respiro
26	1	1	CA-2532	Releitor
27	1	1	CA-2535	Rolamento
28	1	1	CA-2539	Caixa Rolamentos
29	—	1	CA-2540	Carter
30	—	1	CA-2541	Virabrequim
31	1	2	CA-2983	Tampa
32	1	2	CA-3015	Lingüeta
33	1	2	CA-3018	Junta
34	1	2	CA-3019	Junta
35	1	2	CA-3025	Cilindro
36	1	2	CA-3311	Mola
37	1	2	CA-3312	Disco
38	1	2	CA-3316	Prato com Fios



AS ESPECIFICAÇÕES CONTIDAS NESTE CATÁLOGO ESTÃO SUJEITAS A ALTERAÇÃO SEM PRÉVIO AVISO



ESCRITÓRIOS E FÁBRICA:

Estrada do Timbó, 126 — Bonsucesso
CEP 21081 — Rio de Janeiro — RJ

FILIAIS:

São Paulo: Av. Paulista, 1106 - 1.º andar
Goiânia: Pç. Alm. Tamandaré, 312 Galeria Tamandaré
LJ. 16 Setor Oeste

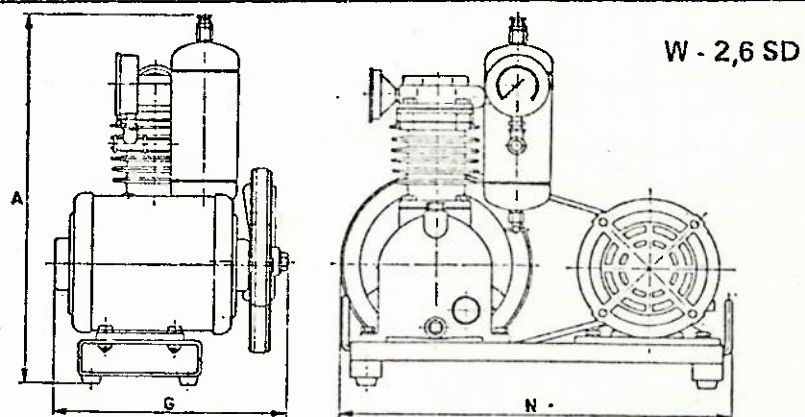
Curitiba: Av. Cândido de Abreu, 427
14.º andar - Conj. 1410-A

Recife: Av. Cruz Cabugá, 229 - 1.º and. (1. B)

AGENTES, REVENDEDORES E SERVIÇOS AUTORIZADOS NAS PRINCIPAIS CIDADES DO PAÍS

313 - 500 - 10/84

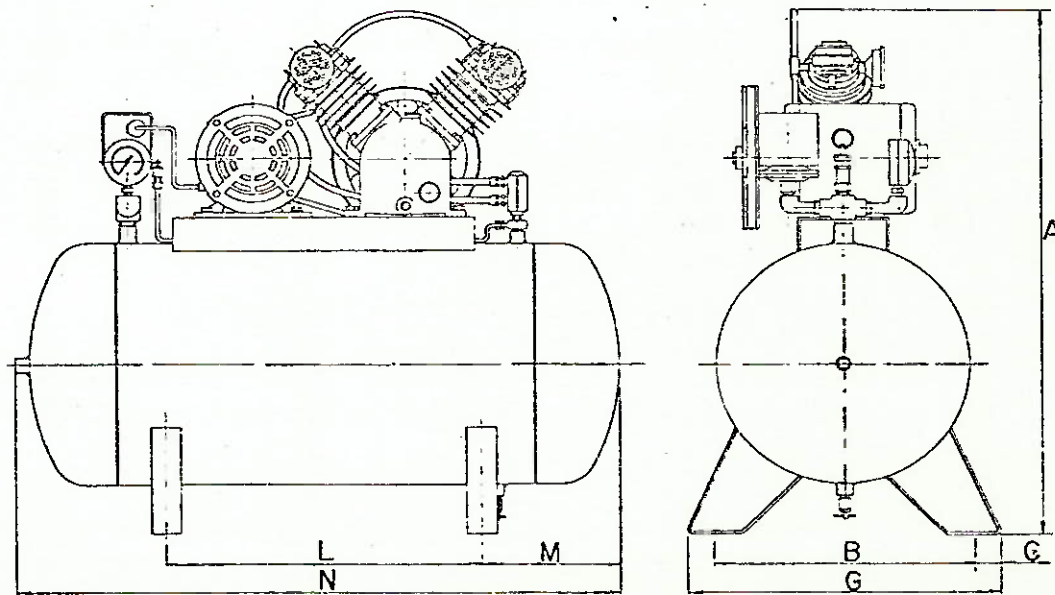
COMPRESSORES DE AR **MODS. W-2,6 SD & W-5,2 SD** **COM E SEM RESERVATÓRIO**



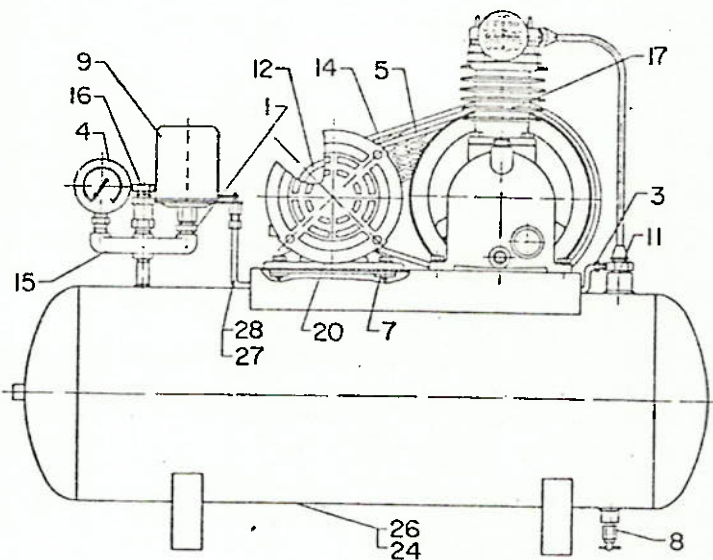
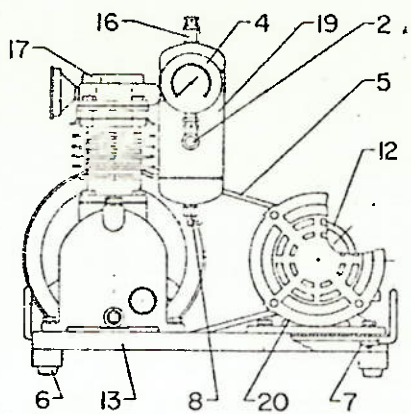
W - 2,6 SD

Modelo	Dimensões mm							Dimensões Encaixotado	Cubag. m ³	Pesos	
	A	B	C	G	L	M	N			Líquido kg	Bruto kg
W-2,6/ 0-SD	410	—	—	260	—	—	455	490 x 460 x 280	0,06	18	28
W-2,6/ 5-SD	647	200	28	256	300	63	530	730 x 660 x 410	0,20	31	46
W-2,6/10-SD	647	200	28	256	450	211	884	1000 x 720 x 340	0,24	40	60
W-5,2/10-SD	655	200	28	256	450	211	884	1000 x 720 x 340	0,24	43	55
W-5,2/20-SD	760	360	45	450	450	227	938	1060 x 850 x 600	0,52	74	91

Modelo	Unid.	Cil.	R.P.M.	CV	Deslocamento		Pressão Máxima de Trabalho		Reservatório	
					m ³ /h	pés ³ /min	kg/cm ²	p.s.i.	litros	Galões
W-2,6/ 0-SD	W-2,6-SD	1	710	1/2	4,4	2,6	8,8	125	—	—
W-2,6/ 5-SD	W-2,6-SD	1	710	1/2	4,4	2,6	8,8	125	19,5	5
W-2,6/10-SD	W-2,6-SD	1	710	1/2	4,4	2,6	8,8	125	39	10
W-5,2/10-SD	W-5,2-SD	2	710	1	8,8	5,2	8,8	125	39	10
W-5,2/20-SD	W-5,2-SD	2	710	1	8,8	5,2	8,8	125	76	20



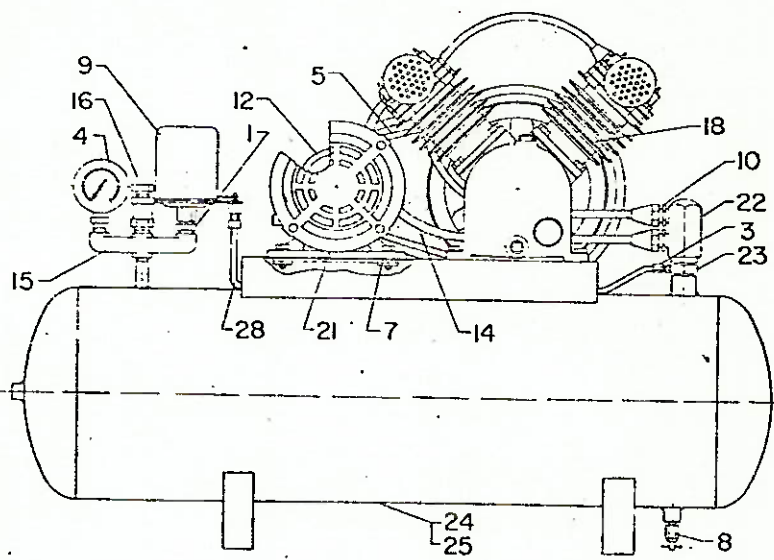
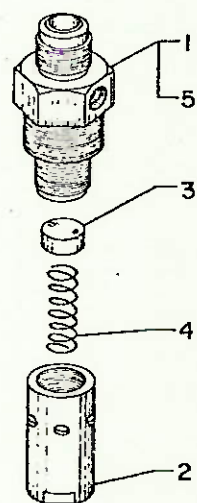
W - 5,2 SD



Item	Qde.	Nº Peça	Descrição
1	1	508003	Niple
2	1	508791	Tê
3	1	901390	Conexão
4	1	901415	Manômetro
5	1	B-4978	Correia
6	4	CA-1173	Amortecedor
7	2	CA-1239	Barra de Fixação
8	1	CA-1320	Purgador
9	1	CA-1671	Pressostato
10	2	CA-2537	Niple Compressão (W-5,2)
11	1	CA-2560	Válv. Retenção (W-2,6)
12	1	CA-2598	Polia ø 89 Ext. (W-2,6 e 5,2)
13	1	CA-2621	Mesa
14	1	CA-2631	Grade Protetora (Opcional)
15	1	CA-2938	Cruzeta
16	1	CA-3006	Válv. Segurança
17	1	CA-3074	Unid. Compressora (W-2,6)
18	1	CA-3081	Unid. Compressora (W-5,2)
19	1	CA-3203	Amortecedor de Pulsações
20	1	CA-3212	Motor Elétrico 1/2 CV (W-2,6)
21	1	CA-3213	Mptor Elétrico 1 CV (W-5,2)
22	1	CA-3216	Adaptador (W-5,2)
23	1	CA-3262	Válv. Retenção (W-5,2)
24	1	CA-3270	Reservatório 10 gal.
25	1	CA-3272	Reservatório 20 gal.
26	1	CA-3356	Reservatório 7 gal.
27	1	CA-3381	Tubo de Descarga (W-2,6/7)
28	1	CA-3382	Tubo de Descarga

VÁLV. RETENÇÃO

CA-2560 (W-2,6 SD)
CA-3262 (W-5,2 SD)



Item	Qde.	Nº Peça	Descrição
1	1	CA-2556	Corpo (W-2,6)
2	1	CA-2557	Guia
3	1	CA-2558	Pistão
4	1	CA-2559	Mola
5	1	CA-3263	Corpo (W-5,2)

As especificações neste catálogo estão sujeitas a alteração sem prévio aviso

Wayne



WAYNE INDUSTRIAL E COMÉRCIO S.A.
FUNDADA EM 1973

ESCRITÓRIO E FÁBRICA: Rio de Janeiro: Estrada do Timbó, 126 — Bonsucesso — CEP 21061 RJ.
FILIAIS: São Paulo: Av. Paulista 1106 — 1º andar Curitiba: Av. Cândido de Abreu, 427 — 14º andar, Conj. 1410-A
Goiânia: Praça Alm. Tamandaré, 312 Galeria Tamandaré Lj. 16 Setor Oeste Recife: Av. Cruz Cabugá, 229 — 1º andar (18)
Agentes, revendedores e serviços autorizados nas principais cidades do país.

A N E X O C

C A T Á L O G O S D A S E R P E N T I N A

- Dimensões do tubo
- Material do tubo

TUBOS

TUBO DE COBRE TREFILADO RECOZIDO SEM COSTURA

REFERÊNCIA: TZ

EXEMPLO DE ESPECIFICAÇÃO:

Quantidade: 12 m 12 m TZ 120100
 Ref. tubo de cobre recozido: TZ
 Diâmetro ext. do tubo: 12,0 mm
 Diâmetro int. do tubo: 10,0 mm

Características:

1. Composição química referente ao cobre nº 122 (DHP) SAE CA 122 - UNS 12200 - ABNT EB 219 CuDHP.
2. Resistência a tração 20 kg/mm² mínimo. Limite de escoamento 6 kg/mm² mínimo. Alongamento 45% (sobre 50 mm) mínimo.
3. Dimensões e tolerâncias, conforme norma ASTM B 251 (ABNT EB 584).
4. As máximas pressões de utilização indicadas referem-se a resistência a tração do material e a um coeficiente de segurança igual a 4 (quatro).
5. Fornecidos em barras de 3 a 6 metros não retas a olho nú.
6. Adequado para aplicações onde necessitem o uso de tubo maleável.

Diâm. Externo (mm)	Diâm. Interno (mm)	Parado (mm)	Referência "TZ"	Pressões de Utiliz. (kg/cm ²)
04.0	02.0	1.0	TZ040020	0 a 280
05.0	03.0	1.0	TZ050030	0 a 214
06.0	04.0	1.0	TZ060040	0 a 172
06.4	04.2	1.1	TZ064042	0 a 179
08.0	06.0	1.0	TZ080060	0 a 124
09.5	07.5	1.0	TZ095075	0 a 102
10.0	08.0	1.0	TZ100080	0 a 97
12.0	10.0	1.0	TZ120100	0 a 80
12.7	10.7	1.0	TZ127107	0 a 75
14.0	12.0	1.0	TZ140120	0 a 67
15.0	13.0	1.0	TZ150130	0 a 63
16.0	13.6	1.2	TZ160136	0 a 71

Diâm. Externo (mm)	Diâm. Interno (mm)	Parado (mm)	Referência "TZ"	Pressões de Utiliz. (kg/cm ²)
18.0	15.6	1.2	TZ180156	0 a 63
19.0	16.6	1.2	TZ190166	0 a 59
20.0	17.0	1.5	TZ200170	0 a 71
22.0	19.0	1.5	TZ220190	0 a 64
25.0	22.0	1.5	TZ250220	0 a 56
25.4	22.4	1.5	TZ254224	0 a 54
28.0	25.0	1.5	TZ280250	0 a 49
30.0	27.0	1.5	TZ300270	0 a 46
32.0	29.0	1.5	TZ320290	0 a 43
35.0	32.0	1.5	TZ350320	0 a 39
38.0	35.0	1.5	TZ380350	0 a 36
42.0	39.0	1.5	TZ420390	0 a 32

* Diâmetros externos de tubos preferenciais por motivos técnicos e comerciais.

TUBO DE COBRE RECOZIDO BRILHANTE EM ROLOS

REFERÊNCIA: RZ

EXEMPLO DE ESPECIFICAÇÃO:

Quantidade: 500m 500 m RZ 095079
 Ref. tubo de cobre recozido: RZ
 Diâmetro ext. do tubo: 9,5 mm
 Diâmetro int. do tubo: 7,9 mm

Características:

1. Produzido de acordo com a norma ASTM B68.
2. Composição química referente ao cobre nº 122 (DHP) - SAE CA 122 - UNS 12200 - ABNT EB 219 - CuDHP.
3. Resistência a tração 20 kg/mm² mínimo. Alongamento mínimo 40% (sobre 50 mm).
4. Dimensões e tolerâncias de acordo com ASTM B251 (ABNT EB 584).
5. As máximas pressões de utilização indicadas, referem-se a tração do material e a um coeficiente de segurança igual a 4 (quatro).
6. Fornecidos em rolos de comprimentos indicados abaixo.

Utilização:

Trata-se de um tubo de cobre recozido brilhante que garante sua utilização nas seguintes aplicações, entre outras:

1. Em circuitos de refrigeração, oleohidráulicos, combustíveis, etc. . . onde é necessário total isenção de incrustações e/ou sujeira interna.
2. Em aplicações, onde é necessário a aplicação de um tubo maleável.

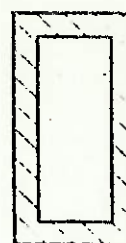
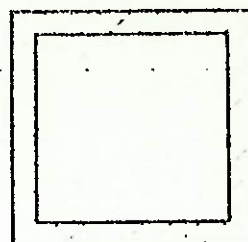
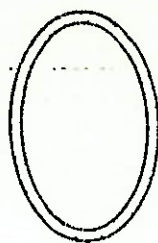
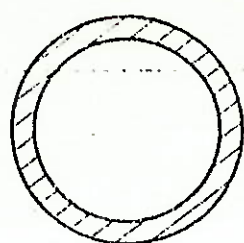
Referência Ermeto	Diâm. Externo		Diâm. Interno		Esp. Parado		Pressões de Utilização		Comprimento dos Rolos	
	mm	pol	mm	pol	mm	pol	kg/cm ²	psi	Proporção	m
RZ064048	6.35	1/4	4.82	0.189	0.79	0.031	120	1700	25% 75%	40 a 320 365 a 772
RZ095079	9.53	3/8	7.92	0.312			80	1130	25% 75%	40 a 224 231 a 490
RZ127111	12.7	1/2	12	0.437			60	850	25% 75%	40 a 120 150 a 357



COBRE FOSFORADO

C

122



COMPOSIÇÃO QUÍMICA

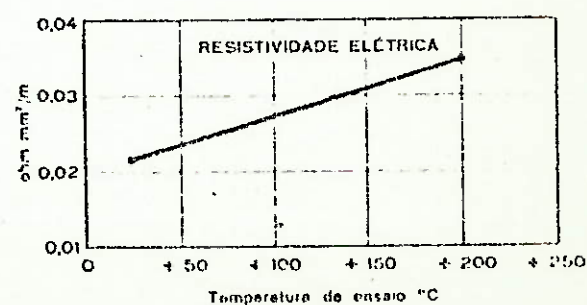
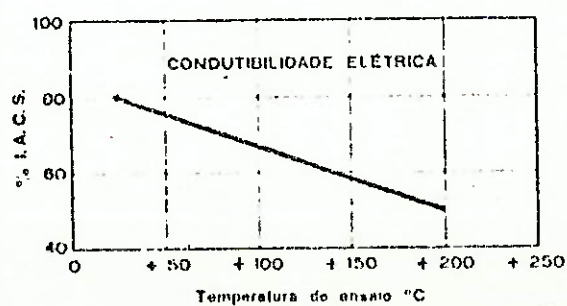
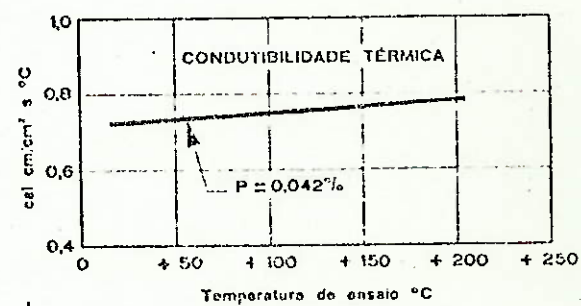
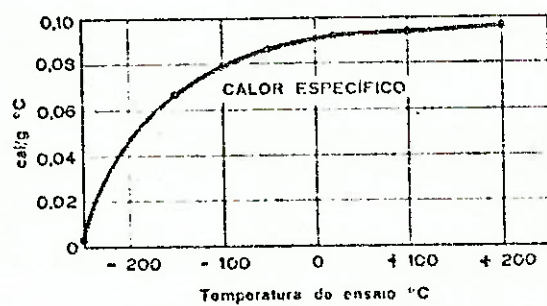
Cobre (+ Prata) 99,90 % mínimo

Fósforo 0,013 - 0,050 %

PROPRIEDADES FÍSICAS

DENSIDADE a 20 °C g/cm³	PONTO DE FUSÃO °C	COEFICIENTE MÉDIO DE EXPANSÃO TÉRMICA (20 - 300 °C) 10 ⁻⁶ °C	CONDUTIBILIDADE ELÉTRICA VOLUMÉTRICA a 20 °C % I. A. C. S.		CONDUTI- BILIDADE TÉRMICA a 20 °C cal cm/cm² s °C	CALOR ESPECÍ- FICO a 20 °C cal/g °C	RESISTIVIDADE ELÉTRICA a 20 °C ohm mm²/m		MÓDULO DE ELASTI- CIDADE a 20 °C kg/mm²	MÓDULO DE RIGIDEZ (TORÇÃO) a 20 °C kg/mm²
			Recozido	Encruado			Recozido	Encruado		
8,9	1083	17,7	70-90	70-90	0,70-0,87	0,0921	0,019- 0,025	0,019- 0,025	12000	4500

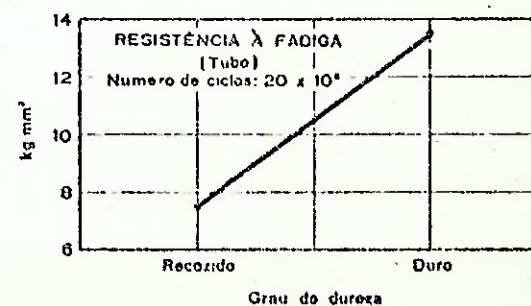
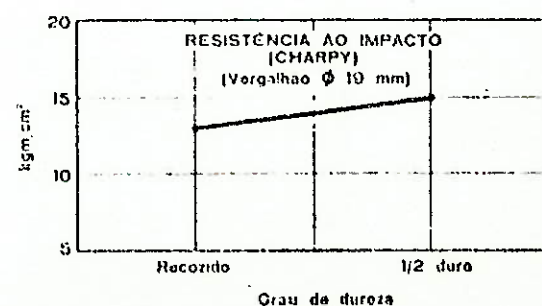
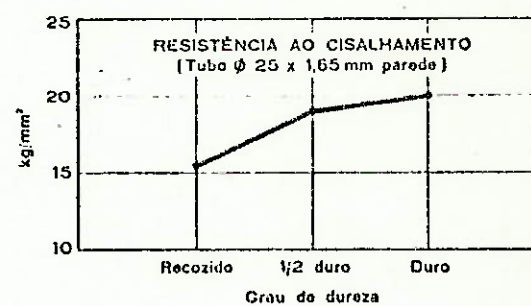
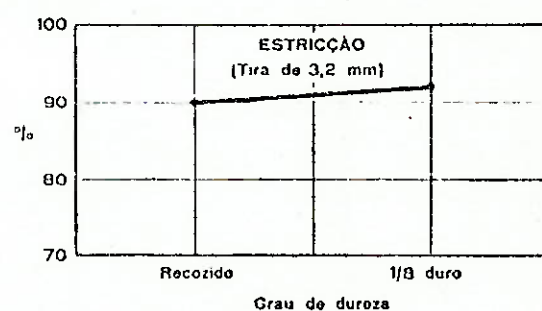
PROPRIEDADES FÍSICAS A BAIXA E ALTA TEMPERATURA

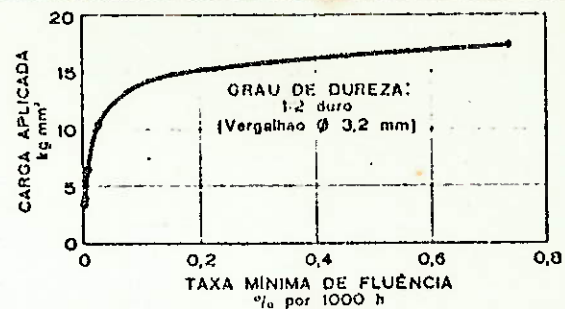
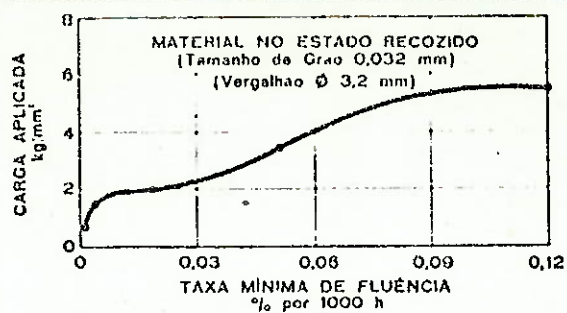


FORMA	GRAU DE DUREZA	LIMITE DE RESISTENCIA kg/mm ²	ESCOA- MENTO (a) kg/mm ²	ALONGA- MENTO (b) %	DUREZA		DITOLAS RELACIONADAS COM AS PROPRIEDADES INDICADAS
					BRINELL	VICKERS	
Tiras e Barras retangulares	Recozido	22	5	48	45	50	—
	1/4 Duro	27	18	25	75	80	0,2 - 10 mm de espessura
	1/2 Duro	32	27	12	90	100	0,2 - 6 mm de espessura
	Duro	38	34	6	105	115	0,5 - 1,5 mm de espessura
Vergalhões	Recozido	22	5	45	45	50	—
	1/2 Duro	28	19	20	75	80	6 - 40 mm de diâmetro
	Duro	34	28	10	95	105	6 - 20 mm de diâmetro
Tubos	Recozido	24	6	45	45	50	—
	1/4 Duro	27	18	30	75	80	10 - 100 mm de diâmetro externo e até 10 mm de parede
	1/2 Duro	35	30	8	100	110	10 - 50 mm de diâmetro externo e até 2 mm de parede
	Duro	38	35	6	105	115	Até 25 mm de diâmetro externo e até 1 mm de parede
Perfis	Extrudado a Quente	24	8	35	50	55	—
	1/4 Duro	27	18	20	75	80	—
	1/2 Duro	32	27	10	90	100	—

(a): O valor indicado corresponde à carga unitária capaz de provocar uma deformação permanente de 0,2 %

(b): O comprimento ensaiado é de $5,65 \sqrt{S_0}$ (S_0 = Secção inicial)





APLICAÇÕES TÍPICAS

Arquitetônicas e Prediais: Tubulações para água quente e fria, para gás e para instalações de aquecimento tanto subterrâneas como expostas; tubos de descarga de água, reservatórios, tanques, acumuladores de água quente, aparelhos de ar condicionado.

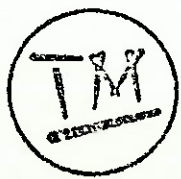
Mecânicas: Construção de todo equipamento que deve ser aquecido em atmosfera redutora para fins de soldagem ou durante o seu funcionamento; tubos para evaporadores e trocadores de calor; tubulações para ar, água, óleo, vapor; radiadores.

Químicas: Tachos, alambiques, autoclaves; trabalhos de caldeiraria em cobre cuja construção requer o uso do processo de soldagem; tubos para líquidos e gases de agressividade reduzida e para indústria de refrigeração.

Elétricas: Ânodos para eletrodeposição em banhos ácidos de sulfato.

NORMAS CORRESPONDENTES

PAÍS	DESIGNAÇÃO DO MATERIAL	NORMA PARA COMPOSIÇÃO QUÍMICA	TIRAS E BARRAS RETANGULARES	VERGALHÕES	FIOS	TUBOS	PERFIS
BRASIL (ABNT)	Cu DHP	P-18-50	P-EB-133	P-NB-149	P-EB-11	P-NB-150	P-NB-149
ALEMANHA (DIN)	SF-Cu(2.0090)	1787	17670	17672	—	17671	17674
ESTADOS UNIDOS (ASTM)	DHP	—	B133 B124 B152	B12 B124 B133	—	B42 B302 B68 B306 B75 B88 B359 B111 B280 B395	B124 B133
FRANÇA (NF)	Cu/b	A53-100	A53-601	A53-301	—	A53-501	A53-301
ITALIA (UNI)	Cu-DHP	5649	—	—	—	—	—
REINO UNIDO (BS)	C106	1172	899 1541 1569 2027 2870 2875	2874	2873	61 (parte 1) 378 659 1306 (parte 2) 1386 2017 1401 2871	2874



TERMOMECHANICA SÃO PAULO S/A.

Avenida Caminho do Mar, 2652 - Rudge Ramos - São Bernardo do Campo, SP

Telefone: 42-7777 - TELEX 023-828 TERMOMECHAN SBO

End. Telegráfico: "TERMOMECHANICA" - Caixa Postal: 8169 - São Paulo

FILIAIS: RIO DE JANEIRO - BELO HORIZONTE - PORTO ALEGRE - RECIFE