

# Aproveitamento do Gás de Esgotos

Eng. JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO

## SEGUNDA PARTE(\*)

### 9 — INSTALAÇÕES DE GAS. SISTEMA DE COLETA. CANALIZAÇÕES

#### 9.1 — INSTALAÇÕES DE GAS.

As estações de tratamento de esgotos com digestores fechados, qualquer que seja o seu tamanho ou importância, devem ser equipadas com instalações para o gás.

As instalações mais simples compreendem apenas os equipamentos essenciais de segurança e de descarte. As mais completas incluem todos os aparelhos necessários à utilização do gás em diferentes misteres .

Atualmente, em quase tôdas as estações de tratamento de esgotos de tamanho capaz de exigir e justificar uma operação adequada, é prevista a utilização dos gases.

De um modo geral, estando previsto o aproveitamento do gás, as instalações incluem:

- a — Sistema de coleta nos digestores;
- b — Aparelhos de segurança;
- c — Canalizações, válvulas, registros e peças especiais;
- d — Purgadores;
- e — Purificadores;
- f — Medidores;
- g — Reguladores de pressão;
- h — Compressores e "boosters";
- i — Gasômetros;
- j — Queimadores.

A coleta do gás para fins de aproveitamento tem sido economicamente vantajosa, não apenas nas grandes estações de tratamento de esgotos, como também em instalações menores, com operação adequada.

#### 9.2 — CUIDADOS ESPECIAIS

Além das precauções já mencionadas no capítulo anterior, devem ser considerados outros cuidados referentes ao projeto das instalações e aos seus equipamentos elétricos.

Todos os compartimentos de operação e controle, onde houver a possibilidade da presença de gás, devido a fugas acidentais ou escapamentos, deverão ser projetados com acesso livre para o exterior.

As canalizações de gás deverão ser cuidadosamente assentadas e mantidas permanentemente sob pressão, controlando-se qualquer possibilidade de vazamento.

Não são recomendados os dispositivos de segurança que funcionam com sêlo hídrico, pois a experiência tem indicado que a evaporação e a negligência podem possibilitar situações perigosas.

(\*) A primeira parte foi publicada no nosso número anterior.

Os equipamentos de segurança instalados em cotas elevadas deverão ficar protegidos contra raios.

As instalações de maior importância deverão ser dotadas de aparelhos para determinação dos teores de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  no gás. A queda das porcentagens relativas a esses componentes, em relação aos seus valores normais, determinará uma verificação das condições do sistema.

Os motores elétricos e chaves de partida, localizados nos compartimentos de controle de gás, deverão ser do tipo à prova de explosão.

As ferramentas empregadas em pontos contíguos aos digestores deverão ser à prova de centelhas.

### 9.3 — SISTEMAS DE COLETA DE GAS

Várias são as modalidades de coleta de gás nas unidades de digestão, devendo ser adotada a forma mais conveniente em cada caso.

Nas estações de tratamento de esgotos com tanques Imhoff as câmaras de sedimentação servem como elementos de vedação, reduzindo-se o custo total do sistema. Neste caso, aproveitam-se as áreas destinadas à espuma para a liberação e pequena acumulação de gás, mediante cobertura adequada.

Nas instalações com digestores separados devem ser considerados os seguintes casos:

- 1 — Digestores de cúpula fixa;
- 2 — Digestores de cúpula flutuante.

No primeiro caso são indispensáveis cuidados especiais para evitar a formação de vácuo parcial, por ocasião das descargas de lodo, de maneira a impedir a entrada de ar. As seguintes disposições são usuais:

- 1.1 — Digestor de cúpula fixa com uma ligação direta de gás para um digestor secundário com cúpula móvel;
- 1.2 — Digestor de cúpula fixa com uma ligação direta de gás a um gasômetro de gravidade;
- 1.3 — Digestor de cúpula fixa, com nível de lodo constante, mantido por bombas que são postas em funcionamento simultaneamente com as descargas de lodo.

Em qualquer dos três casos recomenda-se a instalação de válvulas de segurança para limitar a pressão e quebrar o vácuo, associadas a dispositivos de interseção de chamas.

Os digestores de cúpula flutuante constituem o tipo mais seguro, e mais conveniente, porém, são de custo relativamente elevado.

É por isso freqüente a adoção de digestores primários de cúpula fixa, diretamente ligados a unidades secundárias de cúpula flutuante.

Nos digestores de cúpula flutuante a tomada de gás é feita num zimbório na parte central da cúpula (Fig. 11.2). O tópo deste dispositivo deve ficar pelo menos 1,20 m acima do nível máximo de lodo.

A canalização de tomada de gás deverá ter a sua extremidade superior livre do acesso de líquidos e da espuma.

O sistema de coleta de gás deverá compreender equipamentos de segurança e de controle, incluindo purgadores e corta-chamas.

No que diz respeito ao perigo devido ao vácuo parcial interno, os tanques Imhoff não apresentam problema, porquanto a vazão do afluente é sempre superior à vazão de descarga dos lodos.

### 9.4 — CANALIZAÇÕES DE GAS

Como as pressões de trabalho nos sistemas de coleta e condução de gás são baixas, os encanamentos devem ser projetados e dimensionados de modo a manter as perdas de carga abaixo de limites determinados pelas condições de uso do gás.

Freqüentemente a carga aproveitável para vencer a resistência ao escoamento nas tubulações é inferior a 2,0 cm de coluna de água.

Nessas condições, o sistema de canalizações deve ser projetado com simplicidade e compacidade, evitando-se curvas e peças desnecessárias.

Tem sido constatado que as perdas de carga nas canalizações podem exceder o dôbro dos valores teóricos inicialmente calculados, talvez devido à presença de umidade e impurezas, tais como, partículas arrastadas de lodo (17).

Pelas razões expostas os diâmetros deverão ser liberalmente estabelecidos e as velocidades médias de escoamento serão mantidas aquém de limites relativamente baixos para condutos de gás.

O diâmetro mínimo admissível para essas canalizações é de 50 mm; várias normas americanas prescrevem, entretanto, o diâmetro mínimo de 2½ polegadas (Estados de Minnesota, Illinois, Texas e outros).

A velocidade média de escoamento deve ser mantida abaixo de 3,60 m/seg para impedir o arrastamento dos líquidos condensados nos interceptores e purgadores, para evitar danos aos medidores e aparelhos de segurança, e sobretudo para reduzir as perdas de carga.

As canalizações deverão ser assentadas com declividades nunca inferiores a 1% e preferivelmente mais elevadas, devendo ser instalados purgadores de líquido condensado nos pontos mais baixos.

Os condutos de coleta de gás deverão ser dimensionados para as vazões máximas de produção, ou seja, cerca de duas vezes a produção média antecipada.

O ferro fundido pode ser considerado um excelente material para as canalizações de gás.

## 10 — USOS DO GÁS DE ESGOTOS — USOS PRIMÁRIOS

### 10.1 — MODALIDADES DE USO

Ao se considerarem os usos possíveis para o sub-produto que é o gás de esgotos, pode-se adotar a seguinte classificação conveniente:

#### 1 — Usos primários

- 1.1 — Produção de energia em motores fixos;
- 1.2 — Acionamento de veículos;
- 1.3 — Fornecimento de gás combustível para fins domésticos;
- 1.4 — Aproveitamento em fornos industriais;
- 1.5 — Utilização em processos industriais de síntese.

#### 2 — Usos secundários

- 2.1 — Aquecimento dos digestores;
- 2.2 — Secagem de lodos;
- 2.3 — Incineração de resíduos;
- 2.4 — Calefação dos edifícios;
- 2.5 — Serviços de laboratório e cozinha;
- 2.6 — Iluminação.

#### 3 — Usos especiais

- 3.1 — Agitação nos digestores;
- 3.2 — Empregos militares.

#### 4 — Descarte

- 4.1 — Lançamento na atmosfera;
- 4.2 — Queima.

Freqüentemente êsses usos apresentam-se combinados, particularmente quando se enquadram nas duas categorias intermediárias.

Classificam-se entre os usos primários as modalidades de utilização que proporcionam benefício direto, sob forma de receita, para as estações de tratamento de esgotos.

### 10.2 — PRODUÇÃO DE ENERGIA EM MOTORES FIXOS

Atualmente pode-se considerar prática consolidada o aproveitamento do gás em motores de explosão.

A princípio foram utilizados motores de faísca elétrica adaptados ao novo combustível (Birmingham, Inglaterra, em 1921, Plainfield, N. J., Estados Unidos, em 1926).

Na década seguinte entraram em funcionamento os motores de combustão interna, de compressão elevada, especialmente projetados para o aproveitamento do metano. A grande instalação de Mogden, Inglaterra, com mais de 5.000 CV, foi iniciada em 1935.

As dificuldades iniciais de aplicação de motores comuns ao gás de esgotos decorriam das próprias características do gás: temperaturas muito elevadas no escapamento, rendimentos muito baixos e potências inferiores às dos motores Diesel de construção semelhante.

Para remover essas dificuldades era indispensável aumentar os limites de compressão de 6:1 para valores muito mais elevados.

Entretanto, a cêrca de 8,5:1 começavam a surgir os efeitos da "detonação", fenómeno dependente da qualidade do combustível e altamente nocivo para a própria máquina.

A "detonação" ("knocking") se caracteriza por choques sêcos, de sonoridade metálica peculiar, que se verificam no interior dos cilindros. Fenômeno ainda não perfeitamente explicado e atribuído a explosões parciais e antecipadas, que ocorrem na massa dos gases combustíveis, durante a sua compressão (14).

Para vencer esta dificuldade, a solução que se apresentou consistiu em se alterarem, por artifício, as características do combustível: a inflamação passou a ser feita com injeção de uma pequena quantidade de óleo sob pressão elevada, feita na câmara de combustão, pouco antes do êmbolo atingir a posição mais elevada.

Isto permitiu elevar o limite de compressão até 12:1, ou mesmo mais, reduzindo-se a temperatura dos gases de escapamento e elevando-se o rendimento térmico dos motores.

Surgiram assim os motores a dois combustíveis ou "dual fuel", que podem funcionar com gás e óleo, em porcentagens variáveis.

A introdução e o aperfeiçoamento dos motores "dual fuel" constituem uma notável contribuição da engenharia britânica. A primeira referência ao assunto, de caráter prático foi feita por J. Riffkin, da Universidade de Birmingham, em 1937 (32).

A iniciativa de produção de motores dêsse tipo deve-se a duas importantes organizações industriais inglêsas: A National Gas Engine Co. Ltd. e a Harland e Wolff.

Em 1941 foi concluída a reforma do primeiro motor a gás da instalação de Mogden, para funcionar com os dois combustíveis.

Desde então, inúmeros motores dêste tipo vêm sendo aplicados em várias partes do mundo, com muitas vantagens sôbre os motores comuns:

- 1 — Aumento de potência (da ordem de 20%);
- 2 — Rendimento mais elevado e conseqüente redução no consumo de combustível (10 a 15%);
- 3 — Temperaturas mais baixas no escapamento e, em decorrência, maior proteção para as válvulas e cabeçotes dos cilindros;
- 4 — Redução nos gastos da manutenção;
- 5 — Facilidade de acionamento;
- 6 — Maior flexibilidade de operação (possibilidade de substituição parcial ou total do gás pelo óleo);
- 7 — Possibilidade de melhor aproveitamento das instalações antes de ser atingida a produção prevista de gás.

A mudança de um combustível para outro e a alteração da porcentagem de óleo aplicado podem ser feitas rapidamente sem necessidade de parar os motores, e sem alteração apreciável de velocidade.

Dentro de certos limites práticos pode-se usar qualquer relação de mistura entre os dois combustíveis.

Nos primeiros anos de emprêgo dos motores "dual fuel" a quantidade usual de óleo estava compreendida entre 10 e 15% do valor correspondente ao funcionamento exclusivamente com óleo.

Atualmente, devido aos aperfeiçoamentos alcançados, êsse valor geralmente está entre 4 e 8%.

Outro grande aperfeiçoamento para os motores a gás veio com a introdução dos modelos superalimentados, nos quais a admissão do combustível é feita sob pressão de vários metros de coluna d'água.

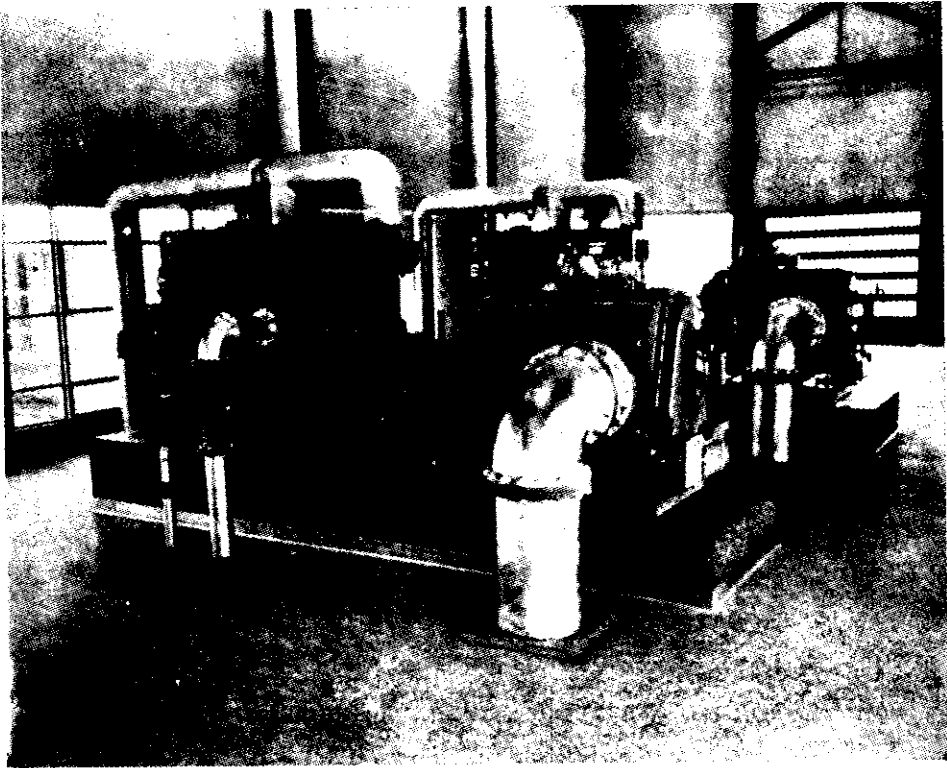


FIG. 10.1 — Instalação de motores fixos a gás de esgotos.

Essa técnica foi introduzida logo após a segunda Guerra Mundial e já se encontra bastante difundida, principalmente nos Estados Unidos.

Na prática, para se obter uma boa combustão nos motores "dual fuel", de aspiração normal, a mistura ar-combustível deve diferir da relação estequiométrica ideal, devendo ser determinada, em cada caso, durante a própria operação.

Esta condição limita a capacidade dos motores de dois combustíveis a valores inferiores aos que corresponderiam ao uso de óleo.

A experiência mostra que a alimentação do combustível gasoso sob pressão elevada possibilita maior flexibilidade na relação ar-combustível, o que constitui uma vantagem dos motores superalimentados.

No quadro apresentado a seguir encontram-se indicados os consumos usuais nos motores a gás.

QUADRO 70.2A — CONSUMO DE MOTORES A GAS  
(A plena carga, ao nível do mar)

	Motor a gás (comum)	Dual Fuel asp. normal	Dual Fuel super-ali.
Consumo de gás, Cal/CVh	2500-3150	1800-2500	1700-1800
Consumo de óleo, Cal/CVh	—	80-160	80-160
Rendimento mecânico ...	20%-25%	25%-35%	35%-37%
Consumo de gás, m <sup>3</sup> /CVh*	0,435-0,545	0,315-0,435	0,300-0,315

(\*) Na base de 5.800 Cal/m<sup>3</sup>.

Os valores mais altos do rendimento mecânico somente são alcançados em instalações de grande capacidade, equipadas com máquinas de boa qualidade.

O rendimento dos motores funcionando com cargas inferiores às nominais cai, elevando-se o consumo: exemplo típico é dado por Wittwer (55):

QUADRO 10.2-B — A VARIAÇÃO DO RENDIMENTO COM A CARGA

% carga	Consumo	Rendimento
100% (1)	2.500 Cal/CVh	25 %
83% (5/6)	2.600 "	24 %
67% (2/3)	2.800 "	22,5%
50% (1/2)	3.100 "	20,5%

Ao se avaliar as possibilidades de aproveitamento em uma estação de tratamento deve-se ter em mente que raramente os motores funcionarão a plena carga durante longos períodos e que as variações de carga provocam elevações de consumo.

Na grande instalação de Mogden, o rendimento médio global é de 28%.

Por outro lado, os dados apresentados correspondem ao funcionamento de motores novos, instalados ao nível do mar, sob temperaturas inferiores a 30° C e com umidade do ar abaixo de 15 mm (pressão de vapor). Para altitudes maiores deve-se levar em conta uma redução da ordem de 1%, para cada 100 metros.

O consumo de gás, o poder calorífico do combustível e o rendimento do motor estão relacionados pela expressão de equivalência térmica:

$$\eta = \frac{75 \text{ kgm/s} \times 3.600 \text{ s/h}}{V \times 427 \text{ kgm/Cal} \times C} = \frac{632}{V \cdot C}$$

$\eta$  = Rendimento mecânico do motor

V = Volume do gás consumido por CV, m<sup>3</sup>/h.

C = Poder calorífico inferior(\*) do gás, Kcal/m<sup>3</sup>.

Na melhor das hipóteses o aproveitamento no eixo dos motores corresponde ao rendimento de cerca de 35%.

O excesso de calor produzido pelas explosões no interior dos cilindros deve ser continuamente retirado do motor, para se evitar que a elevação de temperatura além de certos limites, possa causar a decomposição do lubrificante.

A água de resfriamento, que deve entrar no motor com uma temperatura entre 45° e 55° C (valores máximos), geralmente sai com 60-80° C.

Os gases de escapamento deixam o "manifold" com temperaturas elevadas: 450 a 500° C, podendo ser resfriados economicamente até cerca de 200° C.

O balanço térmico de um motor a gás sugere o aproveitamento dessas duas "fontes" de calor, para aquecimento de água:

(\*) Como o calor latente do vapor d'água não é utilizado, os cálculos baseiam-se sempre no poder calorífico inferior.

QUADRO 10.2-C — BALANÇO TÉRMICO DOS MOTORES "DUAL FUEL"(\*)

		Aproveitamento e recuperação
Calorias fornecidas .....	100%	
Trabalho útil (no eixo) .....	25% - 35% (30,0%)	25%-35% (30,0%)
Perdas na água de resfriamento .....	25% - 35% (30,0%)	20%-30% (23,0%)
Perdas nos gases de escap. . . . .	20% - 40% (30,0%)	15%-25% (20,0%)
Outras perdas(**) .....	10%	

(\*) Aspiração normal.

(\*\*) Óleo lubrificante, radiação e atritos.

Com aproveitamento em tôdas as partes, chega-se a um rendimento orgânico de 60%-90%, podendo-se concluir que os motores a gás se comportam como verdadeiras caldeiras para aquecimento de água.

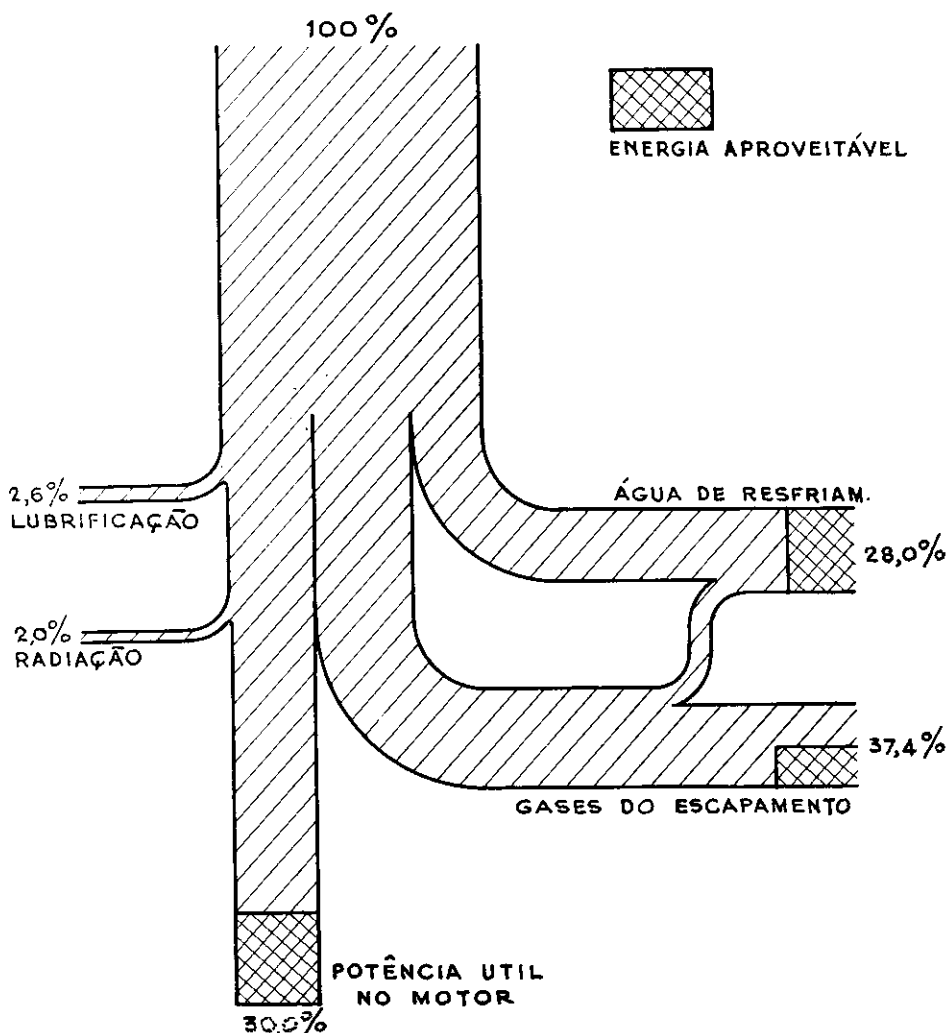


FIG. 10.2 — Utilização de energia nos motores a gás.



O sistema de resfriamento dos motores geralmente compreende um circuito fechado com um trocador de calor e um tanque de compensação.

A água de resfriamento, admitida na parte inferior do motor, passa sob os rolamentos principais, sobe pelas colunas até a parte superior dos cilindros, resfria a tubulação de escapamento e sai para o cambiador de calor.

Para a recuperação do calor dos gases de escapamento são empregados trocadores de calor, do tipo tubular, com aquecimento da água, pela passagem dos gases quentes.

Em instalações deste tipo, já se tem conseguido recuperar 50% ou até mesmo mais, do calor desenvolvido pela combustão na água de resfriamento e nos gases de escapamento.

A água aquecida geralmente é utilizada para calefação de edifícios (nos climas frios) e para aquecimento dos digestores.

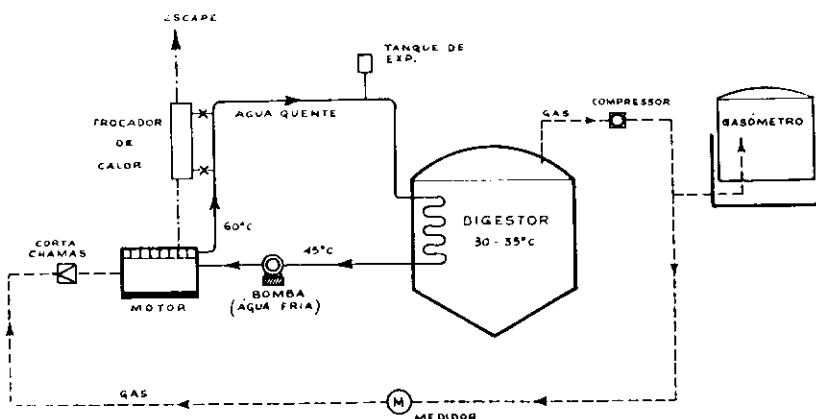


FIG. 10.3 — Esquema de uma instalação com aproveitamento da água quente e com trocador de calor para os gases do escapamento.

Os motores a gás são fabricados em série, desde 60 até mais de 2.000 CV, com velocidades que variam desde 200 até 1.500 rotações por minuto:

**QUADRO 10.2-C — PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DOS MOTORES A GÁS**

Fabricantes	R. P. M.	N.º de cil.	Diâm. Cilindros pol.	Curso pol.	Potência H-P
English Electric(*)	450-1500	3-16	6-15	8-20	148-2104
Harland & Wolff(*)	333- 500	5- 8	10-16	14-24	340-1920
National(*)	333- 750	3- 8	9-17	12-21½	156-2248
Climax(**)	500- 900	6-12	6½-7½	7	60- 600
Enterprise(**)	200-1000	3-16	8-17	10-21	73-6162
Worthington(**)	360- 600	5- 8	10¾-16	14-20	345-1688

(\*) Inglêses

(\*\*) Norte Americanos.

Keep, um dos engenheiros de grande experiência na manutenção e operação de motores a gás, é de opinião que os resultados satisfatórios e econômicos são obtidos em motores de 400 CV ou maiores, funcionando com baixa rotação, e que

em face dos atuais custos iniciais elevados, as instalações para produção de energia deixam de ser vantajosas para populações servidas inferiores a 50.000 habitantes (32).

A velocidade dos êmbolos não deve exceder 7,5 m/seg e preferivelmente deverá ser mantida abaixo de 6 m/seg.

O consumo de óleo lubrificante varia proporcionalmente à potência, podendo ser estimado entre 0,001 e 0,003 litros/CV hora.

Os equipamentos complementares de uma instalação de motores a gás compreendem:

- 1 — **Equipamento de partida:** Compressores de ar e tanques de pressão ou acumuladores elétricos (êstes últimos somente para unidades de pequena potência);
- 2 — **Trocadores de calor:** Para reaproveitamento parcial do calor contido nos gases de escapamento;
- 3 — **Bombas:** Para a recirculação de água no sistema de resfriamento e aquecimento dos digestores;
- 4 — **Sistema de alimentação de gás;**
- 5 — **Sistema de alimentação de óleo combustível;**
- 6 — **Sistema de alimentação de óleo lubrificante;**
- 7 — **Quadro elétrico;**
- 8 — **Ponte rolante e acessórios diversos.**

Nas estações de tratamento de esgotos os motores a gás geralmente são acoplados a:

- 1 — Compressores de ar;
- 2 — Bombas centrífugas;
- 3 — Alternadores.

Nas instalações de lodos ativados, do tipo de ar difuso, o acionamento dos compressores de ar apresenta a vantagem de grande flexibilidade em face de possíveis variações na quantidade de gás disponível.

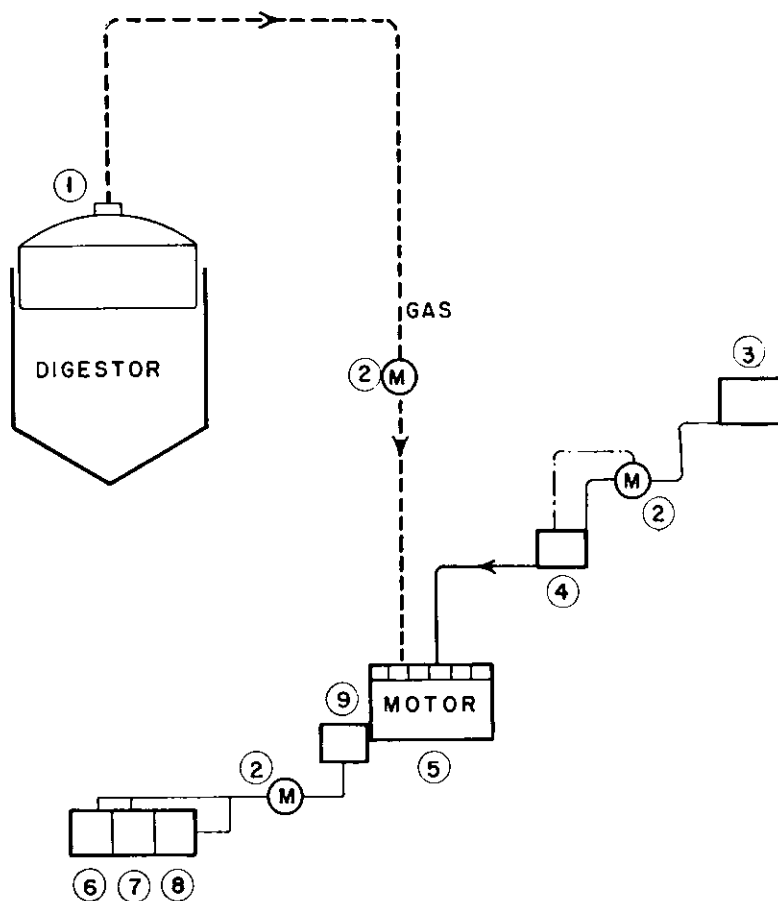
O emprêgo de motores a gás nas instalações de recalque possibilita a adoção de bombas de velocidade e descarga variáveis, o que também é vantajoso.

Sob o aspecto de flexibilidade a terceira aplicação é a menos conveniente, porque os alternadores exigem uma operação a velocidade constante, requerendo consumos de gás mais elevados nas ocasiões em que a demanda cair abaixo do valor nominal (2).

Uma relação de 107 motores fornecidos pela Companhia Worthington de 1934 até 1950, apresenta as seguintes porcentagens relativas à aplicação:

Compressores de ar .....	45 (42%)
Alternadores .....	43 (40%)
Compressores e alternadores .....	4 (4%)
Bombas .....	15 (14%)

As maiores instalações do mundo de motores a gás estão relacionadas no quadro 10.2 E:



ESQUEMA DE INSTALAÇÃO DE MOTOR "DUAL FUEL"

- ① - COLETOR DE GAS
- ② - MEDIDORES
- ③ - DEPÓSITO DE ÓLEO
- ④ - TANQUE DE CONSUMO DIÁRIO DE ÓLEO
- ⑤ - MOTOR
- ⑥ - DEPÓSITO DE ÓLEO LUBRIFICANTE SUJO
- ⑦ - DEPÓSITO DE ÓLEO LUBRIFICANTE PURIFICADO
- ⑧ - DEPÓSITO DE ÓLEO LUBRIFICANTE NOVO
- ⑨ - TANQUE DE ALIMENTAÇÃO DE ÓLEO LUBRIFICANTE

FIG. 10.4 — Disposição funcional dos tanques e depósitos de óleo para motores a dois combustíveis.

QUADRO 10.2 — GRANDES INSTALAÇÕES DE MOTORES A GÁS(\*)

Estação	N.º de motor	Pot. total H. P.	Aplicação	Observações
Hyperion, Los Angeles . . . . .	10	16880	Alt. & Comp	1948 — Worth.
London County . . . . .	10	11360	Alt.	Eng. El.
Manchester . . . . .	6	10500	Alt.	Eng. El.
Oul's Head, N. Y. . . . .	6	9300	—	—
Mogden, Inglaterra . . . . .	11	7100	Alt. & Comp	Harland & Wolff
Point of Ayr . . . . .	5	5500	Alt.	Eng. El.
Colne Valley . . . . .	6	5196	Alt.	1951 — National
Jamaica, N. Y. . . . .	3	4320	Alt.	140 — Worth.
Tallmans Island, N. Y. . . . .	8	4050	Alt. & Comp	1937 — Worth.
Auckland, N. Z. . . . .	4	4000	Alt.	1958 — National
26th Ward, N. Y. . . . .	3	3900	Alt.	1945
Humber Valley, Canadá . . . . .	5	3760	Alt. & Comp	1958 — National
Hunt's Point, N. Y. . . . .	4	3600	—	—
Fort Huachs, Arizona . . . . .	3	3000	—	—
Ashbridges Bay, Canadá . . . . .	2	2970	Alt.	1958 — National
Nassau C., N. Y. . . . .	5	2925	Alt. & Comp	1949 — Worth.
Nut Island, Mass. . . . .	5	2914	Alt. & Comp	1946 — Worth.
Coney Island, N. Y. . . . .	3	2760	Alt.	1940 — Worth.
Columbus, Ohio . . . . .	3	2250	Alt.	—
Grawley, Inglaterra . . . . .	3	2160	Alt.	1957 — National

(\*) Lista parcial. Instalações com 2.000 HP ou mais.

Para que seja mantida nas instalações de motores a gás um elevado índice de aproveitamento térmico, a água de resfriamento das máquinas é sempre utilizada para aquecimento dos digestores. O calor assim reaproveitado, geralmente é suficiente para essa finalidade (20).

Os motores a gás têm uma vida econômica de cerca de 20 anos, exigindo revisões completas, após 8.500 horas de funcionamento ou 2 anos de trabalho, na base de 12 horas de serviço por dia.

A presença de  $H_2S$  em teores relativamente elevados poderá, entretanto, abreviar extraordinariamente a sua vida útil.

O gás sulfídrico tem uma grande afinidade pelos metais, com os quais se combina para formar sulfuretos. Na presença de ar úmido o  $H_2S$  pode constituir uma solução fraca de  $H_2SO_4$ , que ataca os metais, causando a sua corrosão.

Os resíduos de metal corroído podem atingir os anéis de segmento dos motores, obstruindo-os e provocando novas fontes de atrito. O óleo lubrificante torna-se sujo e as válvulas do motor movimentam-se com dificuldade (3).

Recomenda-se, pois, o controle sistemático dessa impureza.

A tendência que já se esboça para o futuro é a de emprêgo crescente de turbinas a gás, em substituição aos atuais motores de combustão interna.

A grande desvantagem das turbinas, atualmente, encontra-se no seu rendimento relativamente baixo (15-22%). Entretanto, elas são mais compactas e muito mais leves, requerendo bases e fundações mais econômicas e menores áreas de instalação.

10.3 — ACIONAMENTO DE VEÍCULOS

Esta modalidade de emprêgo tem sido adotada em várias cidades, principalmente européias e especialmente durante a guerra, quando era precário o suprimento de derivados do petróleo.

Entre essas cidades incluíam-se Londres, Milão, Estocolmo, Joannesburg, Berlim, Stuttgart, Halle, Essen, Munich e outras, sendo que, em Londres, todo o gás excedente da grande estação de tratamento de esgotos de Mogden, era utilizado para movimentar caminhões da limpeza pública urbana.

Durante os últimos anos da conflagração mundial os ônibus de empresas particulares de Estocolmo funcionaram com gás de esgotos.

Na Itália êsse combustível foi utilizado experimentalmente para movimentar uma locomotiva (42).

Na Europa dezenas de milhares de veículos são acionados a gás, empregando além do gás de esgotos, o gás natural e o gás de coque. Em seu número de novembro de 1942, a revista brasileira "Química Industrial", divulgou os seguintes dados estatísticos referentes ao ano de 1941:

Almanha .....	75.000 veículos
Itália .....	20.000 "
Inglaterra .....	10.000 "
Suécia .....	1.367 "

Para efeito comparativo com a gasolina pode-se considerar a equivalência calorífica:

QUADRO 10.3 — QUANTIDADES EQUIVALENTES A 1 m<sup>3</sup> DE GÁS(\*)

Combustível	Poder calorífico	Quantidade equivalente a 1 m <sup>3</sup> de gás
Butana .....	5.900 Kgcal/kg	1,2 kg
Gás natural .....	7.950 Kcal/m <sup>3</sup>	910 litros
Gasolina .....	7.250 Kgcal/litro	1,0 "
Óleo Diesel .....	8.200 "	0,9 "
Óleo combustível .....	10.500 "	0,7 "

(\*) Gás de esgotos lavado, com 90% de CH<sub>4</sub> e 7.250 Kcal/m<sup>3</sup>.

Nas condições de emprêgo, os resultados podem diferir um pouco dos valores apresentados, em consequência da alteração de características do combustível.

Experiências feitas em Stuttgart mostraram praticamente que 900 litros de metano realizam o trabalho equivalente ao consumo de 1 litro de gasolina nos veículos a motor. Valor quase idêntico foi adotado pelo Dr. Imhoff em um estudo feito sobre o assunto (26).

A adaptação do veículo não oferece dificuldades: o maior problema está no transporte do carburante.

A utilização do gás de esgotos para esta finalidade requer lavagem prévia, para redução do teor de CO<sub>2</sub> e remoção do H<sub>2</sub>S eventualmente presente.

O gás pode ser conduzido a baixa pressão, em balões de forma conveniente, dispostos sobre o teto dos veículos. Êsse sistema somente tem sido adotado na Alemanha, e principalmente para veículos rurais.

Geralmente, o gás é comprimido em reservatórios até cerca de 350 atmosferas.

Um sistema que lembra os postos de fornecimento de gasolina possibilita o suprimento de gás, a 200 atmosferas, às garrafas cilíndricas ou aos bujões de aço, instalados nos veículos.

Os cilindros normalmente adotados nas instalações alemãs têm 0,23 m de diâmetro, 1,70 m de comprimento e quando vazios pesam 78 Kg.

A 200 atmosferas cada cilindro comporta a quantidade correspondente a 12 m<sup>3</sup> de gás, o que é equivalente a cerca de 13 litros de gasolina.

O inconveniente que não pode ser removido decorre do elevado peso próprio dos cilindros de pressão.

Essa desvantagem não seria considerável no caso de caminhões, porém a tendência moderna é a de se empregar cada vez mais, motores Diesel nesses veículos de carga.

#### 10.4 — FORNECIMENTO DE GAS COMBUSTÍVEL PARA FINS DOMÉSTICOS

O fornecimento de gás para utilização em fogões, geladeiras e aparelhos de aquecimento de água e do ambiente, pode ser feito de duas maneiras distintas:

##### a) Gás engarrafado

O engarrafamento do gás para permitir o seu transporte exige pressões elevadas, geralmente compreendidas entre 100 e 300 atmosferas para maior aproveitamento do volume útil dos recipientes.

Empregam-se cilindros de aço semelhantes aos que são usados para cloro, acetileno e oxigênio, ou bujões, tais como, os de gás procedente das refinarias de petróleo.

As características térmicas e dinâmicas do metano não favorecem este sistema de fornecimento e, geralmente, o gás de esgotos não apresenta condições para competir com os derivados do petróleo.

##### b) Distribuição em canalizações

O aproveitamento do gás para consumo doméstico, em redes de distribuição, foi praticado pela primeira vez há cerca de 50 anos.

De lá para cá várias cidades, principalmente na Alemanha, vêm sendo parcialmente abastecidas com gás de esgotos, vendido às companhias de gás.

Exemplo típico é dado pela estação de tratamento de esgotos de Essen-Rellinghausen (50.000 habitantes) que, desde 1923, passou a vender gás para a Companhia de Gás de Essen.

Nos Estados Unidos as cidades de Des Moines (Iowa) e Waterloo (no mesmo Estado) firmaram contratos com os serviços locais para venda do excesso de gás. Somente no ano fiscal de 1/8/1940 a 31/7/1941 a primeira cidade, com uma população de 160.000 habitantes, recebeu US\$ 18.472,00, pela venda do gás disponível (17).

Duas modalidades devem ser examinadas:

- 1) Fornecimento feito independentemente de outro serviço de gás, através de rede própria;
- 2) Uso do gás em uma rede distribuidora existente e alimentada com gás de outra fonte.

No primeiro caso, apenas se procede à remoção do H<sub>2</sub>S, antes de se comprimir o gás nos gasômetros de distribuição.

Na segunda hipótese, apresentam-se problemas decorrentes das diferenças de densidades, poderes caloríficos e condições de queima entre os gases.

Além da exigência de purificação, com a remoção de CO<sub>2</sub> (redução de volume e de densidade) e H<sub>2</sub>S, poderá se tornar necessária a reforma ou o empobrecimento do gás.

Considerando-se que a produção de gás de esgotos, de um modo geral, corresponde apenas acêrca de 10% das necessidades de gás de uma comunidade, uma solução interessante consiste na entrega do gás à própria usina produtora da cidade, onde êle poderá ser misturado e diluído em maior massa, ajustando-se assim às características do produto a ser distribuído.

Desde que a usina local não esteja a uma distância muito grande da estação de tratamento, essa solução poderá apresentar vantagens práticas e econômicas pelo fato de dispensar investimentos adicionais nas instalações de reforma ou empobrecimento.

Se, entretanto, as condições locais exigirem a introdução do gás de esgotos em pontos extremos da rêde distribuidora, deverão ser previstas as instalações adicionais para o ajustamento do poder calorífico e da densidade do gás de esgotos.

Para êste fim, poderão ser consideradas, após a remoção do  $\text{CO}_2$ , as alternativas seguintes:

- a) Produção de gás azul, em instalação própria, para a mistura com o gás de esgotos;
- b) Reforma parcial do gás de esgotos pelo processo catalítico.

Em ambos os casos aumenta-se o volume do gás a ser fornecido: Na primeira hipótese devido à produção adicional de gás azul, de poder calorífico mais baixo, e no segundo, em consequência da "quebra" do gás durante o processo.

A produção de gás azul, devido aos problemas de operação que se apresentam, sômente se justifica para grandes volumes de gás.

As instalações de reforma catalítica, de operação relativamente simples e pouco dispendiosa, exigem uma aplicação de capital considerável.

As canalizações distribuidoras geralmente são de ferro fundido, com juntas de chumbo e diâmetro mínimo igual a 100 mm.

A pressão nos sistemas de distribuição de gás é relativamente baixa, raramente excedendo 5 mca.

Os compressores de gás utilizados no sistema podem ser:

- 1) Do tipo de pistão:
  - i — de simples efeito;
  - ii — de efeito duplo.
- 2) Do tipo rotativo;
- 3) Do tipo centrífugo.

## 10.5 — APROVEITAMENTO EM FORNOS INDUSTRIAIS

O aproveitamento do gás de esgotos, como combustível, em estabelecimentos industriais, é praticável sômente em casos especiais, condicionados à proximidade de instalações fabris, eventualmente interessadas nessa utilização.

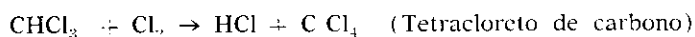
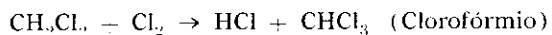
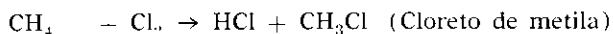
Em fornos industriais usualmente se emprega óleo combustível com 10.500 Cal/Kg. A utilização de gás de esgotos para a mesma finalidade exige a substituição dos maçaricos, o que tècnicamente não oferece dificuldades.

No sentido de interessar o industrial ao uso do novo combustível, é indispensável assegurar condições de fornecimento compatíveis com a utilização industrial durante um determinado período de contrato, assim como estabelecer um preço que ofereça pequena vantagem sôbre o custo do óleo para o mesmo fim.

## 10.6 — UTILIZAÇÃO EM PROCESSOS INDUSTRIAIS DE SÍNTESE

Do metano podem ser derivadas várias substâncias de valor industrial, incluindo álcoois, aldeídos, ácidos, cloretos etc.

O metano reage com o cloro produzindo uma série de compostos clorados importantes:



O primeiro composto (cloreto de metila), por sua vez, constitui o termo intermediário da transformação do metano em álcool metílico, em etana, em álcool etílico e em ácido acético.

O álcool metílico (metanol),  $\text{CH}_3 \cdot \text{OH}$ , foi descoberto em 1661 por Boyle. A sua síntese, a partir de diversos compostos, foi feita em 1858, por Berthelot.

Além dos compostos mencionados, pode-se também produzir o negro de fumo, pela queima do metano.

A importância de compostos, tais como, o clorofórmio para a medicina, o tetracloroeto de carbono para a indústria, e outros, não precisa ser ressaltada.



## 11 — USOS SECUNDÁRIOS, USOS ESPECIAIS E DESCARTES

Consideramos aplicações secundárias aquelas que não trazem uma compensação direta, sob a forma de receita, para as estações de tratamento de esgotos.

### 11.1 — AQUECIMENTO DOS DIGESTORES

Conforme o que já foi indicado, a temperatura é um importante fator no fenômeno da digestão anaeróbia: A experiência mostra que as velocidades de reação e de produção do gás elevam-se com o aquecimento dos lodos em decomposição.

Para que seja mantida uma temperatura conveniente nos digestores deverá ser fornecida uma quantidade de calor suficiente para:

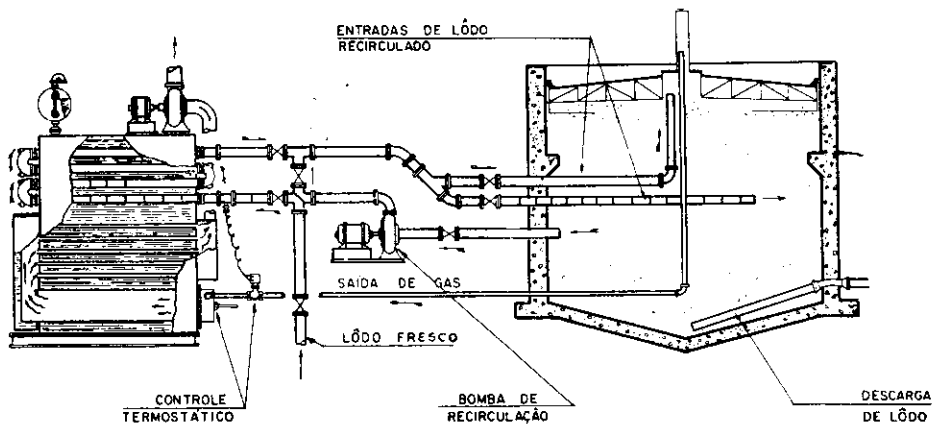
- 1) Compensar as perdas através das paredes, do fundo e da cobertura dos tanques;
- 2) Elevar a temperatura dos lodos frescos adicionados;
- 3) Cobrir as perdas no sistema de aquecimento.

Dois sistemas principais são empregados para o aquecimento dos lodos:

- 1) Aquecimento interno nos digestores, por meio de serpentinas;
- 2) Aquecimento externo do lodo recirculado, em trocadores de calor.

No primeiro caso emprega-se água quente a cerca de 60° C, tendo sido constatado que temperaturas mais elevadas podem chamuscar o lodo, causando a formação de crostas aderentes às paredes das canalizações. Essa acumulação de lodo seco prejudica a transmissão do calor das canalizações para a massa de lodos em digestão.

O aquecimento em aparelhos externos requer a retirada e o retorno do lodo, em um sistema fechado, com o emprêgo de bombas (fig. 11.2).



### AQUECIMENTO DE LODO

FIG. 11.2 — Aquecimento externo do lado recirculado.

Nas instalações equipadas com motores a gás aproveita-se a água de resfriamento e o calor do gás de escapamento para aquecimento dos digestores. A quantidade de calor assim reaproveitada, geralmente é suficiente para as necessidades.

Nas estações de tratamento que não utilizam o gás em motores, o aquecimento é feito com o emprêgo de caldeiras especiais, alimentadas com gás ou com óleo.

A quantidade de gás necessária para essa finalidade, geralmente está compreendida entre 25 e 45% da quantidade de gás produzido.

As caldeiras e trocadores de calor para essa finalidade são fabricados em série desde a capacidade de 25.000 até cerca de 400.000 Kcal/hora.

O aquecimento dos digestores constitui atualmente a utilização mais comum dos gases de esgotos (39).

## 11.2 — SECAGEM DE LÔDOS E INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS

A secagem térmica dos lodos de esgotos até cerca de 10% de umidade é feita nas instalações destinadas a aproveitá-los industrialmente.

Essa operação constitui também a fase de preparação dos lodos para a sua incineração.

Dois tipos de secadores são usualmente adotados:

- a) Fornos rotativos semelhantes aos que são utilizados na indústria do cimento;
- b) Secadores rápidos equipados com ciclones.

As instalações podem ser projetadas para fazer a secagem dos lodos até que seja obtido um baixo teor de umidade e, sempre que houver conveniência, para prosseguir até a queima completa do material.

Para economia térmica do processo, usualmente se procede previamente à secagem parcial dos lodos em filtros à vácuo.

A secagem dos lodos por aquecimento apresenta a grande vantagem sanitária de destruição de ovos de vermes.

Os lodos não digeridos, após a secagem mecânica, apresentam condições próprias para serem queimados, sem necessidade permanente de combustível auxiliar.

Os lodos digeridos, entretanto, não dispensam uma fonte de calor para a sua incineração.

O gás de esgotos é o combustível mais indicado para promover a secagem ou a queima dos lodos.

Além da incineração dos lodos, pode-se considerar também, a queima do material retido nas grades, da espuma e do material retirado das caixas de gordura e dos tanques de remoção de óleo.

O rendimento térmico dos aparelhos de secagem e incineração, geralmente, está compreendido entre 45 e 70% (19).

## 11.3 — UTILIZAÇÃO NOS EDIFÍCIOS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO.

Nas estações de tratamento de esgotos o gás poderá ser aproveitado para finalidades menos importantes, tais como:

- Calefação dos edifícios (nas regiões de clima frio);
- Serviços de laboratório (alimentação de bicos de Bunsen, estufas, aquecedores, fornos etc.);
- Funcionamento de refrigeradores;
- Serviços de cozinha (alimentação de fogões);
- Iluminação de áreas livres e pavilhões.

Salvo casos especiais, a quantidade de gás consumida nessas aplicações corresponde a uma pequena porcentagem da produção total.

## 11.4 — USOS ESPECIAIS E DESCARTE

Infelizmente, o metano tem uma temperatura crítica extremamente baixa, que dificulta a sua liquefação.

Não obstante, a firma especializada "Constock International Methane Ltd." construiu, em 1956, a primeira instalação industrial de liquefação, operada a — 162° C e funcionando à pressão atmosférica.

Foram construídos dois depósitos para metano líquido, um na localidade americana de Lake Charles (Luisiana) e outro em Londres.

O navio-tanque "Methane Pioneer" fez a primeira viagem em 1959, transportando para Londres 32.000 barrís de metano líquido.

Essa iniciativa pode ser considerada uma verdadeira revolução no mercado dos combustíveis líquidos (52).

Modernamente os gases de esgotos têm sido utilizados para promover a mistura intensa na massa de lódos em digestão, mediante o processo de recirculação.

Para esse fim o gás é injetado sob pressão na parte inferior dos digestores.

A recente técnica da digestão acclerada ("high rate digestion") baseia-se na mistura contínua e completa de todo o material em digestão.

Com essa mistura são alcançados três objetivos:

- a) os alimentos ficam distribuídos uniformemente;
- b) os organismos ativos são mantidos em contato permanente com os alimentos disponíveis;
- c) as substâncias residuárias e os produtos inibitórios são diluídos em toda a massa, mantendo-se em concentrações toleráveis(\*).

Com essas condições mais vantajosas, o processo biológico de decomposição torna-se mais eficiente, permitindo reduções substanciais no período de detenção, possibilitando conseqüentemente, consideráveis economias estruturais.

É interessante mencionar que, durante a última Guerra Mundial, os gases de esgotos foram utilizados para a fabricação de bombas incendiárias. Em contraposição a essa utilização para fins militares, a grande estação depuradora inglesa de Mogden (Londres), foi danificada pelo bombardeio dos alemães.

Por menor que seja uma estação de tratamento de esgotos, e mesmo que não tenha sido prevista a utilização do gás, merecem atenção especial as condições de segurança da instalação: O gás não aproveitado deverá ser convenientemente afastado e queimado.

O emprêgo de queimadores de gás oferece maior segurança do que os sistemas de descarga na atmosfera.

As capacidades nominais dos queimadores de fabricação da P. F. T., para perdas de carga de 12,5 mmca são as seguintes:

Coluna de alimentação	m <sup>3</sup> de gás/dia
50 mm (2")	1.350
75 mm (3")	3.050
100 mm (4")	6.100
150 mm (6")	13.500

(\*) "Fundamental Considerations in High Rate Digestion", C. N. Sawyer e J. S. Grumbling. Journal of the Sanitary Engineering Division, Vol. 86, N.º SA2, Part 1.49 (março 1960).

## 12 — ESTUDO ECONÔMICO: SOLUÇÃO PARA SÃO PAULO

### 12.1 — CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Em 1943 Jesus Netto assim apreciava a questão do aproveitamento do gás:

“Uma instalação de tratamento de esgotos não é uma indústria, da qual se pretende auferir lucros imaginários: é obra de higiene e saneamento, e como tal deve ser orientada na sua construção. Não quer isto dizer, entretanto, que se despreze o valor intrínseco de certos subprodutos do tratamento. O seu aproveitamento entra obrigatoriamente na economia das modernas estações de tratamento de esgotos” (29).

Em vista das múltiplas possibilidades de aproveitamento do gás, deve-se fazer, para cada caso, um estudo comparativo técnico e econômico, no qual deverão ser consideradas as condições locais, o custo dos equipamentos e o valor das utilidades.

A respeito da instalação de motores a gás para a produção de energia elétrica, encontra-se a seguinte observação feita pelo Eng. Wittwer (55):

“Deve-se assinalar que a única justificativa para a aplicação de capital em instalações destinadas à produção de força em substituição ao fornecimento de energia externa, baseia-se na economia real a ser obtida. As considerações a favor ou contra instalações dessa natureza devem ser feitas em bases financeiras, uma vez que a produção de energia própria não traz benefícios para a operação ou para os resultados das estações de tratamento de esgotos”.

Um problema econômico dessa natureza apresentou-se recentemente com a operação da Estação de Tratamento de Esgotos de Vila Leopoldina, nesta Capital, cuja produção de gás já excede 10.000 m<sup>3</sup>/dia, devendo atingir a estimativa de 14.700 m<sup>3</sup>/dia, com o aquecimento dos digestores a 32° C.

A produção de gás prevista para o ano de 1975, nessa Estação, é de 17.500 m<sup>3</sup> diários, correspondendo a cerca de 19 litros por pessoa servida.

Os engenheiros projetistas da Estação de Tratamento de Esgotos de Vila Leopoldina especificaram o aquecimento dos lodos em unidade externa, aproveitando uma parte da produção de gás para essa finalidade. Inicialmente poderão ser consumidos na caldeira 4.100 m<sup>3</sup>/dia, quantidade que se elevará para 6.000 m<sup>3</sup>/dia ao fim de 15 anos, com o tratamento primário.

Após uma investigação preliminar das condições locais foi iniciado um estudo econômico das três soluções mais indicadas:

- 1 — Produção de energia elétrica;
- 2 — Utilização em fornos industriais;
- 3 — Venda à Companhia de Gás para aproveitamento na rede pública.

Foi admitido o tratamento primário dos esgotos até o ano de 1975 (hipótese mais desfavorável).

### 12.2 — PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para 1975 a produção de gás foi estimada em 17.500 m<sup>3</sup>/dia, ou seja, 730 m<sup>3</sup>/hora. Considerando-se o aproveitamento de 85% da produção média diária, e admitindo-se o consumo de 0,4 m<sup>3</sup>/CV, encontra-se:

$$\frac{0,85 \times 730}{0,4} = 1.550 \text{ CV}$$

A produção inicial de 14.700 m<sup>3</sup>/dia corresponderia, nas mesmas condições, a 1.300 CV.

Poderiam ser instalados três motores, a dois combustíveis, cada um de 775 CV, sendo uma unidade de reserva.

Êsses motores seriam diretamente acoplados a alternadores de 550 KW, com o fator de potência de 0,8.

Uma estimativa de orçamento para a instalação completa, aos preços atuais, compreenderia:

3 grupos motores-alternadores: US\$ 330.000,00 .....	Cr\$ 82.500.000,00
Painéis elétricos: US\$ 10.000,00 .....	Cr\$ 2.500.000,00
Accessórios: US\$ 7.500,00 .....	Cr\$ 1.500.000,00
Ponte rolante .....	Cr\$ 3.000.000,00
Gasômetro (3.000 m <sup>3</sup> ) .....	Cr\$ 12.000.000,00
Montagem das instalações .....	Cr\$ 10.000.000,00
Pavilhão das máquinas (10,00 × 15,00) .....	Cr\$ 2.250.000,00
<b>Total .....</b>	<b>Cr\$ 113.750.000,00</b>

As despesas previstas, de operação, são as seguintes:

(por mês)

**Pessoal**

3 operadores de máquinas .....	Cr\$ 36.000,00
2 auxiliares .....	Cr\$ 16.000,00
1 mecânico .....	Cr\$ 15.000,00
1 eletricista .....	Cr\$ 15.000,00

**Material**

Óleo combustível (auxiliar)(*) 0,013 Kg × 1.550 × 24 × × 30 × \$ 4,00 ≈ .....	Cr\$ 58.000,00
Óleo lubrificante (0,002 litro/CVh) 0,002 × 1.550 × 24 × 30 × \$ 40,00 ~ .....	Cr\$ 90.000,00

**Manutenção**

Peças e reparos .....	~ Cr\$ 150.000,00
<b>Soma .....</b>	<b>Cr\$ 380.000,00</b>
Administração 10% .....	Cr\$ 38.000,00
Amortização, 20 anos - 11% \$ 114.750.000,00 × 0,01032 ..	~ Cr\$ 1.174.000,00
<b>Total .....</b>	<b>Cr\$ 1.592.000,00</b>

A produção mensal de energia poderia atingir:

$$2 \times 550 \times 24 \times 30 = 792.000 \text{ kwh}$$

O valor por kwh resultaria igual a

$$\frac{\text{Cr\$ } 1.502.000,00}{792.000} \cong 2,00$$

isto se fór atribuído valor nulo para o gás consumido.

(\*) Na base de 7% do consumo exclusivo de óleo (cêrca de 0,180 Kg/CVh).

Considerando-se que o custo médio de energia elétrica fornecida à Estação de Tratamento de Esgotos de Vila Leopoldina é inferior a Cr\$ 0,50/kwh, conclui-se que esta modalidade de emprêgo do gás não é vantajosa.

Uma investigação semelhante feita há alguns anos, quando se estudava o destino dos esgotos de Santos e São Vicente, levou à mesma conclusão.

Em nosso meio, o custo relativamente baixo da energia hidro-elétrica e o preço bastante elevado dos motores e das peças de reposição não estimulam economicamente essa forma de aproveitamento.

Em países altamente industrializados algumas instalações têm produzido energia com um custo inferior ao da eletricidade, fornecida por fontes externas.

Na instalação de Mogden, Inglaterra, o custo de operação em 1957/58, por kwh, foi:

Pessoal .....	0,109	pence (Cr\$ 0,22)
Óleo combustível .....	0,057	" (Cr\$ 0,11)
Óleo lubrificante .....	0,021	" (Cr\$ 0,04)
Materiais diversos .....	0,611	" (Cr\$ 0,02)
Peças e reparos .....	0,207	" (Cr\$ 0,41)
Administração e amortização ..	0,338	" (Cr\$ 0,68)
Totais .....	0,743	" (Cr\$ 1,48)/kwh

Na Estação de Tratamento de Owls Head, Nova Iorque, o valor médio do kwh produzido em 1955, aproximou-se de US\$ 0,009, ou seja, praticamente, Cr\$ 1,80, em nossa moeda.

Esses custos, apesar de não levarem em conta o valor do gás consumido, podem ser considerados elevados em relação às tarifas nacionais de energia elétrica, para consumo industrial.

### 12.3 — UTILIZAÇÃO EM FORNOS INDUSTRIAIS

Outra possibilidade para o aproveitamento econômico do gás produzido em Vila Leopoldina, consiste no fornecimento às grandes indústrias metalúrgicas.

Localizada nas proximidades da confluência dos rios Tietê e Pinheiros, a Estação de Vila Leopoldina encontra-se em situação privilegiada para estender canalizações ao longo das avenidas marginais, onde já se desenvolve grande atividade industrial.

De um contato preliminar com indústrias situadas na região, concluiu-se que pelo menos uma grande companhia estaria interessada em consumir toda a disponibilidade atual de gás produzido na estação.

Verificou-se, porém, que essa empresa está empregando em seus fornos, óleo combustível de 10.200 Kcal/Kg., adquirido ao preço de Cr\$ 4,00/Kg.

Admitindo-se para o gás de esgotos um poder calorífico médio de 6.000 Kcal/m<sup>3</sup>, o valor do gás correspondente à equivalência térmica seria de Cr\$ 2,35/m<sup>3</sup>.

Deveria ser considerada, porém, uma bonificação de 10% sobre esse valor, para interessar o industrial na substituição do combustível.

O valor reputado para o gás, cairia, então, para Cr\$ 2,10/m<sup>3</sup>.

Esse valor é muito inferior ao preço do gás de rua em São Paulo (cerca de Cr\$ 6,00/m<sup>3</sup> na fonte de produção e Cr\$ 9,00/m<sup>3</sup> a domicílio).

### 12.4 — VENDA À COMPANHIA DE GAS PARA APROVEITAMENTO NA REDE PÚBLICA.

A cidade de São Paulo é parcialmente servida por gás de rua desde o século passado, quando toda a iluminação urbana era feita com lampêões que queimavam esse combustível.

A concessionária do serviço, a The San Paulo Gas Co., Ltd., atualmente denominada Companhia Paulista de Serviços de Gás, não pôde acompanhar o extraordinário surto de desenvolvimento da grande metrópole brasileira.

Em conseqüência o serviço de gás ficou restrito à parte mais antiga da cidade, onde existem 105.000 prédios ligados.

A produção atual de gás, pouco superior a 250.000 m<sup>3</sup> diários, não permite qualquer ampliação da rede distribuidora, e tende a se tornar insuficiente à medida que se verifica o crescimento vertical da região beneficiada pelo serviço.

A Companhia, em fase final de contrato, não tem possibilidade de ampliar as instalações de produção para atender à demanda crescente do serviço.

Pode-se estimar para a cidade de São Paulo um consumo potencial de mais de 20.000.000 de metros cúbicos de gás, por mês.

Eis porque a introdução de uma quantidade apreciável de gás no sistema distribuidor existente poderia beneficiar grande parte da população paulistana.

A utilização de nova parcela de gás na rede pública existente dispensaria a inversão de novos capitais em obras e instalações de distribuição.

A introdução de gás de esgotos diretamente em ponto próximo da rede distribuidora da companhia não poderia ser feita sem o ajustamento das suas características, o que exigiria uma instalação dispendiosa de reforma catalítica.

Entretanto, como a quantidade de gás produzido nas estações de tratamento de esgotos é relativamente pequena em face da produção de gás de rua, é admissível a sua entrega, na Usina de Gás, onde êle poderia ser submetido às operações que se tornarem necessárias e onde haveria a possibilidade de mistura com grande massa de gás.

Para reduzir o volume e a densidade do gás de esgotos êle poderia ser submetido a lavagem prévia na própria estação de tratamento de esgotos, reduzindo-se o teor de CO<sub>2</sub> para cerca de 5%.

Essa operação é, contudo, relativamente simples e pouco dispendiosa.

As instalações necessárias para essa forma de aproveitamento compreenderiam:

- Gasômetro de baixa pressão;
- Lavador para remoção de CO<sub>2</sub> ;
- Instalação de compressores;
- Medidores;
- Canalização de recalque.

A Estação de Tratamento de Esgotos de Vila Leopoldina encontra-se a cerca de 15 km da Usina de Produção de Gás da Companhia.

Uma estimativa de custo para as instalações indispensáveis foi feita:

Gasômetro (3.000 m <sup>3</sup> ) .....	Cr\$ 12.000.000,00
Instalações de purificação .....	Cr\$ 5.000.000,00
Compressores, medidores e diversos ....	Cr\$ 5.000.000,00
Montagem das instalações .....	Cr\$ 3.000.000,00
	25.000.000,00
Tubulação até a Usina de gás .....	Cr\$ 22.500.000,00
	Total .....
	Cr\$ 47.500.000,00

Esse capital seria amortizado em 20 anos, com 11% de juros por mensalidades de Cr\$ 490.200,00.

As despesas de operação seriam relativamente baixas, podendo-se estimar em Cr\$ 550.000,00 por mês o dispêndio total, inclusive amortização.

Nessas condições o custo por metro cúbico de gás fornecido resultaria igual a:

$$\frac{550.000,00}{11.500 \text{ m}^3/\text{d} \times 30} \cong \text{Cr\$ } 1,60/\text{m}^3$$

Considerando-se que o atual valor médio de produção de gás na Usina da Companhia é de aproximadamente Cr\$ 6,00/m<sup>3</sup>, o saldo mensal seria:

$$11.500 \text{ m}^3/\text{d} \times 30 \times (6,00 - 1,60) = \text{Cr\$ } 1.518.000,00$$

Verifica-se, portanto, que além de servir à cidade, esta solução traria considerável lucro para a estação de tratamento de esgotos.

Foi esta a solução proposta às Autoridades do Estado, encontrando-se atualmente em fase final de estudo para vias de concretização.



APÊNDICE

ESCOAMENTO DE GASES. PERDAS DE CARGA

O pêso específico dos gases varia diretamente com a pressão a que estão submetidos e inversamente com a temperatura absoluta, de acôrdo com a equação dos gases perfeitos:

$$\gamma = \frac{p}{RT}$$

$p$  = pressão, kg/m<sup>2</sup>  
 $\gamma$  = pêso específico, kg/m<sup>3</sup>  
 $T$  = temp. absol. =  $t + 273^{\circ}$   
 $R$  = constante da equação dos gases

O escoamento de gases praticamente sempre é acompanhado de variação de pressão e, conseqüentemente, de alteração de pêso específico.

Para os gases a equação da continuidade deve ser escrita em têrmos de pêso ou massa:

$$\gamma_1 S_1 V_1 = \gamma_2 S_2 V_2$$

Constata-se, portanto, que, se em um conduto de secção circular com diâmetro uniforme e sob temperatura constante a pressão absoluta cair à metade do valor inicial, o pêso específico do gás também será reduzido à 50% e conseqüentemente a velocidade deverá elevar-se ao dôbro.

Sempre que a variação de pressão de um ponto para outro não fôr elevada, a alteração de pêso específico será pequena, podendo-se aplicar as expressões gerais de resistência, estabelecidas para o escoamento de fluidos incompressíveis.

Êste é um caso que freqüentemente se verifica em canalizações curtas ou em condutos de baixa velocidade onde

$$\frac{p_2}{p_1} > 0,90$$

Com maior rigor poder-se-ia limitar a variação de pressão a apenas 4% ( $p_2 = 0,96 p_1$ ), o que traria um êrro da ordem de 2% nos resultados.

Em tais condições a linha de carga é admitida como sendo retilínea (fig. A.1), sendo aplicável a fórmula universal do escoamento de fluidos incompressíveis.

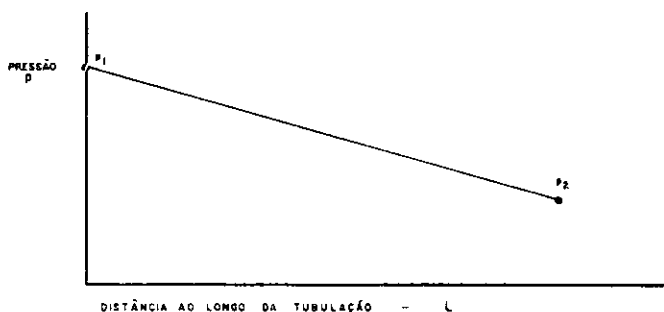


FIG. A-1 — Escoamento de gás com pequena variação de pressão

Os problemas neste caso são resolvidos de maneira idêntica à que se adota para as questões relativas ao escoamento de líquidos, podendo-se admitir o pêso específico constante, e se desejarmos maior precisão, levar em conta o seu valor médio.

O valor de  $h_f$  será dado em metros de coluna de um "líquido imaginário", de pêso específico idêntico ao do gás.

A rugosidade relativa será a mesma indicada para o movimento dos líquidos nas tubulações, mantendo-se praticamente constantes os valores de  $N_{11}$  e de  $f$ .

O diagrama de Rouse aplica-se tanto aos fluidos compressíveis como aos incompressíveis.

Se, ao contrário do que vem sendo admitido, a queda de pressão fôr acentuada, as expressões da hidráulica não poderão mais ser aplicadas, exigindo o problema um tratamento mais complexo. Neste caso, a linha de carga será representada por uma curva (fig. A.2).

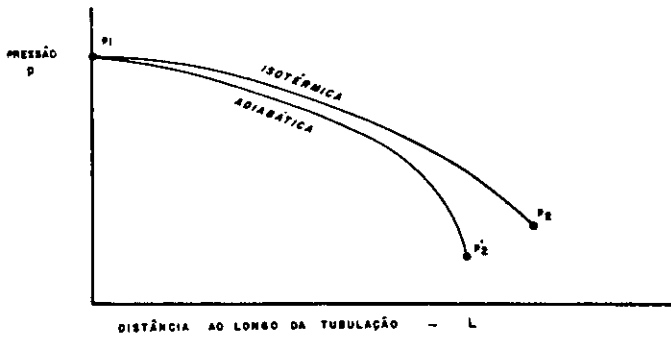


FIG. A-2 — Escoamentos isotérmico e adiabático

Tal é o caso das tubulações em que a perda de carga ( $p_1 - p_2$ ) representa uma porção importante da pressão inicial  $p_1$ , o que geralmente ocorre nos condutos longos e nas canalizações com pressões e velocidade elevadas.

Para a solução desse problema poder-se-ia subdividir, para efeito de cálculo, a tubulação dada em trechos para os quais pudesse ser aplicado o critério precedente. Isto corresponderia à "substituição" da curva representativa de linha de carga, por inúmeros trechos retos. Em cada um desses trechos seria admissível adotar valores médios para o peso específico e para a velocidade média de escoamento.

Este método de cálculo, contudo, além de ser aproximado poderá se tornar bastante trabalhoso no caso de tubulações de grande extensão.

O estudo geral do escoamento de gases, sob o ponto de vista teórico, abrange dois casos extremos:

- 1 — **Escoamento isotérmico** — Tubulações não protegidas termicamente, onde prevalece a temperatura ambiente considerada uniforme;
- 2 — **Escoamento adiabático** — Tubulações perfeitamente protegidas, onde não ocorrem trocas de calor.

Na prática, o escoamento de gases aproxima-se mais das condições isotérmicas, uma vez que as tubulações metálicas são instaladas sem proteção especial.

Admitindo, portanto, a expansão isotérmica, pode-se deduzir a expressão seguinte(\*):

$$h_f = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{fL V_1^2}{D \cdot 2g} \frac{2p_1}{p_1 + p_2}$$

Essa expressão difere da anterior apenas pelo fator  $\frac{2p_1}{p_1 + p_2}$ .

A partir dela pode-se verificar se diferenças que resultariam da aplicação da primeira expressão aos problemas em consideração:

$$\text{Se } p_2 = 0,96 p_1 : \frac{2p_1}{p_1 + 0,96 p_1} = 1,02 \text{ (erro de 2\%)}$$

$$\text{Se } p_2 = 0,90 p_1 : \frac{2p_1}{p_1 + 0,9 p_1} = 1,05 \text{ (erro de 5\%)}$$

(\*) Ralph W. Powell, "An Elementary Text in Hydraulics and Fluid Mechanics", The Macmillan Co., N. Y., 1951, pp. 166-167.

Deve-se observar que para a gama de pressões correntes a que estão submetidos os gases, o coeficiente de viscosidade absoluta é praticamente constante. Como a velocidade varia inversamente com o pêsso específico, o número de Reynolds permanece constante ao longo das tubulações e conseqüentemente o coeficiente de atrito se mantém com o mesmo valor.

A viscosidade cinemática varia inversamente com as pressões.

O escoamento em condições adiabáticas ocorre na prática somente nos casos em que se torna conveniente o isolamento térmico das tubulações. Os casos mais comuns são os dos condutos de vapor d'água e de fluidos refrigerantes, como por exemplo a amônia.

Como na maioria dos casos correntes os encanamentos são relativamente curtos, as perdas de pressão são reduzidas, podendo-se, mais uma vez aplicar as expressões já mencionadas.

Todavia, há casos em que êsse tratamento simplificado do problema não pode ser admitido.

Uma análise simples, porém bem feita das condições de escoamento em tais casos, encontra-se na Mecânica dos Fluidos de R. C. Binder (Prentice Hall Inc., New York, 1949, pp. 189-197).

A rigôr, o escoamento de um gás pode não ser adiabático e nem realmente isotérmico. Para que as condições fôssem isotérmicas seria necessário que as trocas de calor se fizessem com uma determinada velocidade e de acôrdo com uma lei preestabelecida.

As condições da prática aproximam-se mais do escoamento isotérmico quando a temperatura ambiente excede a temperatura do fluido.

Assim como existem para as questões de escoamento da água fórmulas práticas simplificadas, para os condutos de gás foram propostas e têm sido aplicadas diversas expressões. Incluem-se entre estas a fórmula de Biel:

$$f = \frac{0,0637 \nu^{0,148}}{Q^{1,125}}$$

$\nu$  = viscosidade cinemática, m<sup>2</sup>/s  
 $Q$  = vazão, m<sup>3</sup>/s  
 $f$  = coeficiente de atrito

A fórmula de Aubery (para escoamento de gás de iluminação em canalizações de ferro fundido):

$$h_r = \frac{1,625 Q^{1,85}}{D}$$

$h_r$  = em mm de água/km  
 $Q$  = m<sup>3</sup>/h  
 $D$  = diâmetro em cm

A Companhia Paulista de Serviços de Gás adota a fórmula do Dr. Pole, para os cálculos relativos às canalizações de baixa pressão da rede de distribuição:

$$Q = 0,6659 \sqrt{\frac{D^5 \cdot h}{d \cdot L}}$$

sendo:

- Q = vazão de gás, em m<sup>3</sup>/h
- D = Diâmetro da canalização, em cm
- h = perda de carga, em mm de col. de água
- d = Densidade do gás em relação ao ar
- L = Extensão da canalização em m

Fluido	Dens. em rel. ao ar (*)	Pêso esp. Normal (a 1 atm-0°C) Kg/m <sup>3</sup>	Pêso esp. a 1 atm 20° C Kg/m <sup>3</sup>	Viscos. cinem. a 1 atm — 20° C m <sup>2</sup> /s	Constante R
Metano .....	0,5545	0,7168	0,6680	0,0000165	52,89
CO <sub>2</sub> .....	1,5291	1,9768	1,8420	0,0000081	19,25
Hidrogênio .....	0,0695	0,0899	0,0838	0,0001090	420,68

$$(*) \text{ Obs. } = \frac{\gamma_{\text{gas}}}{\gamma_{\text{ar}}}$$

$$\gamma_1 = \gamma_{\text{Normal}} \cdot \frac{p_1}{p_{\text{Normal}}} \cdot \frac{T_{\text{Normal}}}{T_1}$$

p = pressão absol.

T = Temp. absol.

### Velocidades práticas

Assim como acontece para a água, observa-se que na prática a velocidade média de escoamento dos gases nas tubulações restringe-se a uma gama relativamente estreita.

Em geral, velocidades mais elevadas correspondem a pressões de trabalho maiores.

Nas instalações prediais de gás as velocidades geralmente estão em torno de 1 m/s ou pouco acima desse valor.

Nas estações de tratamento de esgotos procura-se manter velocidades abaixo de 3,60 m/s para evitar o arrastamento da água de condensação, assim como, para reduzir as perdas de carga.

Em canalizações mais longas, com pressões até 2 atm, a velocidade, geralmente, está compreendida entre 4 e 20 m/seg.

Para pressões ainda mais elevadas, podem ser admitidas velocidades superiores a este último limite.

## REFERÊNCIAS

1. ADAMNS, J. H.: *Modern Sewage Disposal and Hygienics*, Spon Ltd., Londres, 1939.
2. A. S. C. E. e F. S. I. W. A.: *Sewage Treatment Plant Design. Manual of Engineering Practice N.º 36*, New York, 1959.
3. ASHDOWN, W. L. e C. K. CORNILSEN: *Experiences in Gas Purification. Water Works & Sewerage*, 86, 250, 1939.
4. AZEVEDO NETTO, J. M.: *Cronologia dos Serviços de Esgotos, com especial menção ao Brasil. Revista do DAE, Ano 20, n.º 33, 15, 1959.*
5. BABBITT, H. E. e BAUMANN, E. R.: *Sewerage and Sewage Treatment*, 8.ª ed., John Wiley & Sons, Nova Iorque, 1958.
6. BARKER, H. A.: *Biological Formation of Methane, Industrial Engineering Chemistry*, 48, 1438, 1956.
7. BINDER, R. C.: *Fluid Mechanics. Prentice — Hall Inc., Nova Iorque, 1947.*
8. BRAGA, V.: *O problema da energia dirigida. São Paulo, 1940.*
9. BROW, T. e PRESTON, G.: *Operating Engines on Sewage Sludge Gas. Water Works & Sewerage*, 89, 228, 1942.
10. BUSWELL, A. M.: *Microbiology and Theory Anaerobic Digestion, Sewage Works Journal*, 19, 28, 1947.
11. CHAPIN, W. H.: *Second Year College Chemistry*, 5.ª ed., John Wiley & Sons, Nova Iorque, 1949.
12. CLARK, G. L. e HAWLEY, G. G.: *The Encyclopedia of Chemistry. Reinhold Pub. Corp., Nova Iorque, 1957.*
13. COMMITTEE ON HAZARDS OF THE NEW JERSEY WORKS ASSOCIATION: *Gas Hazards — Methods of Reducing such at Sewage Treatment Plants, Water & Sewage Works*, 93, R-199, 1946.
14. CORRÊA, E. D. e BACELLAR, R. H.: *Manual do Engenheiro. Livraria do Globo, Porto Alegre, 1939.*
15. C. P. G. A. (Comissão Coordenadora do Plano Geral de Abastecimento de Água) — São Paulo. *Relatório Final. Revista do DAE, 19, 32, 1958.*
16. DAUGHERTY, R. L. e INGERSOLL, A. C.: *Fluid Mechanics with Engineering Applications, McGraw-Hill Book Co., Nova Iorque, 1954.*
17. ENGINEERING DEPARTMENT OF THE P. F. T.: *Elimination of Gas Hazards at Sewage Plants. Water Works & Sewerage*, 89, 217, 1942.
18. FAIR, G. M. e MOORE, E. W.: *Heat and Energy Relations in the Digestion of Sewage Solids. Sewage Works Journal*, 4, 242, 428, 589, 728, 1932.
19. FAIR, G. M. e GEYER, J. C.: *Water Supply and Waste-Water Disposal. John Wiley & Sons, Nova Iorque, 1954.*
20. FEDERATION OF SEWAGE WORKS ASSOCIATIONS: *Modern Sewage Disposal, Langdon Pearse, Editor, Nova Iorque, 1938.*
21. GREELEY & HANSEN: *Relatório sôbre o Tratamento e Destino dos Esgotos e Resíduos Industriais de São Paulo. Revista do DAE, 19, 31, 2, 1958.*
22. HARDENBERGH, W. A.: *Sewerage and Sewage Treatment*, 2.ª ed., International Textbook Co., Scranton, 1946.
23. HODGMAN, C. D.: *Handbook of Chemistry and Physics. 28.ª ed., Chemical Publishing Co., Cleveland, 1944.*
24. IMHOFF, K.: *Taschenbuch der Stattenwaessering. 16.ª ed., Munique, 1956.*
25. IMHOFF, K.: *Manual de Saneamiento Urbano. Trad., Obras Sanitarias de la Nación, Buenos Aires, 1941.*
26. IMHOFF, K.: *Sludge Gas as Fuel for Motor Vehicles. Trad. Water & Sewage Works*, 99, 7, 284, 1952.
27. IMHOFF, K. e FAIR, G. M.: *Sewage Treatment. John Wiley & Sons Inc., Nova Iorque, 1940.*
28. IMHOFF, K., MÜLLER, W. J. e THISTLETHWAYTE, D. K. B.: *Disposal of Sewage and Other Water-Borne Wastes. Butterworths Scientific Publications, Londres, 1956.*
29. JESUS NETTO, J. P.: *O gás de esgotos. Engenharia, 1, 267, 1943.*

30. JESUS NETTO, J. P.: O gás de esgotos, Boletim da DAE, 1, 1, 1936.
31. KEEFER, O. E.: Sewage Treatment Works, Mc-Graw-Hill Book Co., Nova Iorque, 1940.
32. KEEP, G. A.: Some Notes on Dual-Fuel Engines and Pumps, Journal and Proceedings, I. S. P., Part I, 1959.
33. LANGE, N. A.: Handbook of Chemistry, Handbook Publishers Inc., Sandusky, Ohio, 1956.
34. LANGFORD, L. L.: Safety Considerations in the Design of Gas Utilization Facilities. Sewage Works Journal, 17, 66, 1945.
35. MC CABE, BROTHUR JOSEPH e ECKENFELDER JR., W. W.: Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes, Vol. II, Reinhold Publ. Corp., Nova Iorque, 1958.
36. METCALF, L. e EDDY, H. P.: Sewerage and Sewage Disposal. A. Textbook. 2.<sup>a</sup> ed., Mc-Graw-Hill Book Co., Nova Iorque, 1930.
37. NADRUZ, N. e AZEVEDO NETTO, J. M.: A Estação de Tratamento de Esgotos de Vila Leopoldina. Revista do DAE., 19, 31, V, 1958.
38. NORMAS PARA PROJETOS DE RÉDES DE ESGOTOS SANITÁRIOS (tradução dos "Standards for Sewage Works of the Mississippi River Board of Public Health Engineers and Great Lakes Board of Health Engineers), Revista do DAE, 20, 33, 1959.
39. NORRIS, H. E.: Scrubling Sewage Gas, Water Works & Sewerage, 90, 2, 61, 1943.
40. ONIGA, T.: Calcul des tuyaux. Matemime — France, Paris, 1959.
41. PAZDERA, C.: Construcción de una planta Central para la depuración de aguas residuales del alcantarillado, destinada para 400.000 habitantes. Indústria Pesada Checoslovaca, n.º 5, 1959.
42. PERA, A. F.: Estudo sôbre o aproveitamento do gás gerado nas câmaras de digestão dos lódos de esgotos. Estudo feito para o Departamento das Municipalidades, São Paulo, 1943.
43. P. F. T. (Pacific Flush Tank Co.): Diversos boletins e catálogos. Chicago, Estados Unidos.
44. PHEIFFER, W. P.: Sludge Gas Utilization at Aurora, Illinois. Water and Sewage Works, Reference Edition, 1959.
45. PINHO, ELZA: Contribuição do Laboratório de Análises e Tratamento de Águas e Esgotos do Serviço Federal de Águas e Esgotos, ao I Congresso Nacional de Carburantes. Boletim do Serviço Federal de Águas e Esgotos, 7, 49, 1943.
46. REVUE UNIVERSELLE DES MINES, DE LA METALLURGIE DES TRAVAUX PUBLICS. Ano 82, XV, 12, 1939.
47. RUDOLFS, W.: Principles of Sewage Treatment, Lime Association, Washington, D. C., 1955.
48. TAMEIRÃO, H. P.: Gás de esgoto, sua utilização. Trabalho apresentado ao II Congresso Nacional de Química, 1943.
49. THE ENCYCLOPEDIA AMERICANA. Americana Corp., New York, 1951.
50. THE OIL ENGINE AND GAS TURBINE, Economical Sewage Pumping Service at Southend, 1943.
51. THE VAPOR RECOVERY SYSTEMS CO ("Varec"): Diversos boletins e catálogos, California, Estados Unidos.
52. THE WATER TOWER: XLVI, 4, 6, 1960.
53. WEST, E. D.: Gas Engines for Operation by Sewage Gas. Water Works & Sewerage, 86, 3, 114, 1939.
54. WHO: Who Chronicle. 14, 5, 173, 1960.
55. WITTEWER, N. C.: Principles of Power Generation with Sewage Gas Engines. Water Works & Sewerage, 93, 4, R-259 — 1946.
56. WORTHINGTON CORP, HARRISON, N. J.: Engine Power Plant Guide. An evaluation of plant engineering, operation and maintenance.