

Curso de Tratamento de Águas Residuárias

ENG. JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO

Professor Catedrático da Faculdade de Higiene e Saúde Pública, da Universidade de São Paulo

CAPÍTULO XVI

GÁS E SEU APROVEITAMENTO

16.01 — O gás de esgotos

Da decomposição de substâncias orgânicas, no meio hídrico, resultam produtos gasosos com a predominância do metano e do bióxido de carbono.

Esses compostos quando produzidos pela decomposição da matéria orgânica dos líquidos de esgotos constituem o gás de esgotos.

O metano que é o principal constituinte em volume e em calorias é também denominado o "gás dos pântanos" (Volta: 1778), pela razão de se desprender nos pântanos, em consequência da putrefação de detritos vegetais e animais sob a água.

16.02 — Composição do gás e sua variação

O gás de esgotos resultando da decomposição anaeróbia em meio hídrico, inclui os produtos gasosos típicos dessa atividade bacteriana: CH_4 , CO_2 e N_2 . Além desses componentes, encontram-se com menos freqüência e em pequenas quantidades, H_2 e H_2S .

Com a introdução de ar, eleva-se o teor de N_2 e apresenta-se o oxigênio, com possibilidade de formação de misturas explosivas ou inflamáveis.

O quadro seguinte sintetiza os resultados de análises de 32 estações de tratamento de esgotos:

Composição do gás de esgotos
(Keefer)

Componente	Teores limites		Valor mediano
CH_4	54	— 77%	67 %
CO_2	14	— 34%	30 %
N_2	0	— 9%	3 %
H_2	0	— 11%	3 %
O_2	0	— 2%	0,4 %
H_2S	0,004	— 0,9000%	0,01%

A composição do gás de esgotos produzido nos tanques Imhoff difere um pouco dos dados relativos aos digestores separados, porque nos primeiros, uma parte de CO_2 se dilui no líquido em escoamento, saindo com o efluente.

Imhoff, em seu manual, apresenta os seguintes dados médios, referentes aos componentes principais:

Composição normal do gás

	Tanques Imhoff	Digestores
CH ₄	70 — 80%	65 — 70%
CO ₂	20 — 30%	30 — 35%

Os valores médios da composição do gás de esgotos produzido na Estação Experimental de Tratamento de Esgotos do Ipiranga, em São Paulo, encontram-se no item seguinte.

16.03 — Características do gás

O gás de esgotos, sendo mistura de gases de naturezas diversas, apresenta características resultantes da sua composição.

Sob o ponto de vista térmico, o gás de esgotos classifica-se pouco acima dos gases combustíveis de poder calorífico médio, e bem acima do gás obtido do carvão. Dependendo diretamente do teor de metano presente, o poder calorífico geralmente está compreendido entre 5.000 e 6.500 Kcal/m³.

O metano se queima com uma velocidade de propagação da chama de cerca de 0,3 m/seg e apresenta condições de explosão em uma zona relativamente estreita de mistura com ar: 5,8 a 13,5% de metano, em volume.

Com 67% de CH₄, 30% de CO₂ e 3% de N₂ a sua densidade em relação ao ar é 0,858 e o peso específico a 15,5°C é de 1,05 kg/m³.

O gás, livre de H₂S, é completamente inodoro e incolor, e pela ausência de hidrocarbonetos de peso molecular elevado produz uma chama pouco luminosa.

O quadro abaixo indica a composição média do gás de esgotos produzido na Estação Experimental de Tratamento de Esgotos do Ipiranga e do gás distribuído pela Companhia Paulista de Serviços de Gás de São Paulo.

Comparação do gás de esgotos com o gás de rua em São Paulo

	E.T.E. Ipiranga	C.P. de Serviços de gás
Metano	67,7%	13,8%
Dióxido de carbono	17,8%	4,3%
Nitrogênio	13,3%	9,8%
Hidrogênio	2,0%	42,2%
Oxigênio	1,2%	0,7%
Monóxido de carbono	—	23,4%
Iluminantes (C _n H _m)	—	5,8%
Densidade (Ar = 1)	0,8	0,6
Poder calorífico	5.400	4.750

O poder calorífico de uma mistura de gases vem a ser a média ponderada dos poderes correspondentes aos gases constituintes.

Considerando-se no gás de esgotos apenas o metano, o anidrido carbônico e o azoto, o poder calorífico resultará exclusivamente do teor do primeiro constituinte. Neste caso, como o teor de metano geralmente varia de 65 a 70%, o poder calorífico da mistura fica compreendido entre 5.500 e 6.000 cal/m³.

Eventualmente aparecem no gás pequenas quantidades de monóxido de carbono (?) e hidrogênio, ambos de poder calorífico inferior ao do metano. Essa ocorrência, entretanto, não deve ser considerada nos estudos de aproveitamento por ser incerta e imprevisível.

16.04 — Produção de gás

Inicialmente os técnicos que cuidaram da produtividade do gás de esgotos nas estações de tratamento procuraram relacioná-la ao número de pessoas contribuintes com o objetivo de estabelecer ao mesmo tempo um denominador comum e um dado prático.

Entretanto, a diversidade dos sistemas de esgotamento, a variação da concentração de matéria orgânica nos líquidos cloacais e a multiplicidade de processos de tratamento de esgotos não permitem a fixação de um índice tão simples.

Não obstante, como primeira aproximação, costuma-se indicar os seguintes dados médios:

Produção de gás: Valores médios (litros diários/hab. servido)

Dados	Trat. primário	Trat. prim. e sec.
Americanos, ASCE-FSIWA	22,6	25,5 a 28,3
Americanos, C.E. Keefer	14,2	28,3
Alemães, K. Imhoff	20,0	22,0 a 30,0
Inglêses, G.A. Keep	...	21,2 a 34,0
Italianos, G. Ippolito	15,0	20,0 a 25,0

O volume de gás produzido nos tanques Imhoff é ligeiramente inferior, porque uma parte de CO₂ se dissolve no efluente.

Imhoff e Fair, com base nos valores médios correspondentes ao tratamento primário consideram os seguintes acréscimos aproximados, para o tratamento secundário.

Precipitação química	+ 15%
Filtração biológica de baixa capacidade	+ 10%
Filtração biológica de alta capacidade	+ 15%
Lódos ativados	+ 25%

Partindo-se de 20 litros/pessoa para o tratamento primário, encontra-se:

Precipitação química	23 litros
Filtração biológica de baixa capacidade	22 litros
Filtração biológica de alta capacidade	23 litros
Lódos ativados	25 litros

Para Keefer as produções superiores a 28,3 litros/pessoa, geralmente decorrem de efluentes concentrados, constituindo uma indicação de contribuições industriais ponderáveis.

Sempre que houver um volume considerável de despejos industriais a estimativa de produção de gás poderá se basear na população equivalente.

Além dos fatores inicialmente apontados, influem na quantidade de gás produzido: o tempo e a temperatura de digestão, o regime de alimentação (adição de matéria orgânica ou "inoculação"); a agitação nos digestores, o teor de umidade dos lódos etc.

Considera-se, mesmo, que a produção de gás em quantidade e qualidade é o melhor índice de operação dos digestores.

Um critério mais preciso do que o precedente consiste em se relacionar a quantidade de gás produzido, à quantidade de matéria volátil encaminhada para os tanques de digestão.

A produção média na Inglaterra tem sido estimada entre 500 e 620 litros/kg de matéria orgânica, contida nos lódos frescos.

Imhoff indica os valores médios de 500 litros/kg de matéria orgânica em base seca, para os digestores sem aquecimento, e 700 litros/kg para os digestores aquecidos a 30°C.

Nos Estados Unidos, Keefer apresenta como limites médios 375 e 620 litros. Babbitt sugere a seguinte regra aproximada para a estimativa da produção de gás em função da temperatura: $q = 16t + 285$

q = produção em litros/kg de mat. volátil

t = temperatura °C.

Segundo o mesmo autor o valor máximo de q raramente excede a 940 litros/kg. de matéria volátil, introduzida nos digestores.

A quantidade de gás também pode ser avaliada em termos da quantidade de matéria volátil efetivamente "destruída" no processo da digestão.

Neste caso, os valores, geralmente, estão compreendidos entre 650 e 1.400 litros/kg. Como valor médio, o Manual da A.S.C.E. indica 940 litros/kg a 15,5°C.

Conhecendo-se a quantidade de matéria volátil contida nos lodos frescos, pode-se calcular a quantidade de gás produzível admitindo-se que 2/3 da matéria orgânica sejam "destruídos", durante a digestão.

As diferenças encontradas nos dados mencionados dão uma idéia das dificuldades que se apresentam para estimativas desta natureza.

A operação de uma estação de tratamento de esgotos mostra como é difícil medir a quantidade de matéria orgânica encaminhada diariamente para os tanques de digestão.

16.05 — Variações de produção

A produção de gás nas estações de tratamento de esgotos está sujeita a variações, sendo influenciada pelas condições em que se processa a digestão dos lodos.

Além das alterações que podem ocorrer na qualidade e na quantidade de lodos, os seguintes fatores podem influir no processo de digestão e, portanto, na produção diária de gás; período de digestão, sistema de alimentação pH, temperatura e agitação.

Na Fig. 5 estão indicadas as observações feitas na instalação de tanques Imhoff e Munich, onde a temperatura e a produção de gás estão sujeitas a variações sazonais. Neste caso, a temperatura medida nas câmaras de sedimentação variou entre 5° e 15° C, com a tendência central pouco superior a 12° C. Em correspondência a produção de gás por pessoa servida oscilou entre 4 e 16 litros, com a média de 11,3 litros.

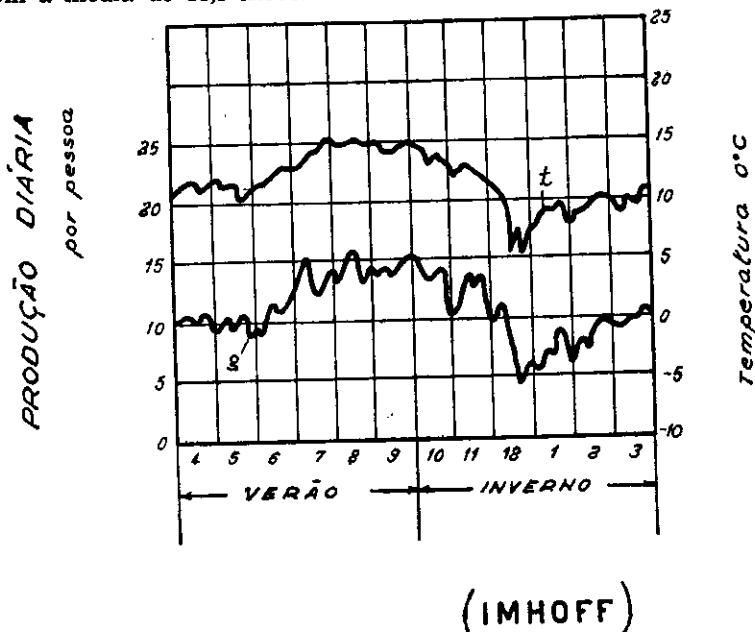


FIG. 6 — Variação da produção de gás em relação com a temperatura, em Munich.

A experiência tem mostrado que a agitação dos lodos em digestão tem uma ação benéfica para o processo, contribuindo para acelerar a produção de gás.

A agitação freqüente (mistura) dos lodos concorre também para maior uniformidade de produção.

Os resultados de operação da Estação de Tratamento de Esgotos de Rahway Valley, Rahway, Estado de Nova Jersey (109 m³/s), relativos a 1943, apresentam:

Produção mínima diária	1.700 m ³ /dia	85%
Produção média diária	2.000 m ³ /dia	100%
Produção máxima diária	2.940 m ³ /dia	147%

Poucos dados são encontrados na literatura sobre a variação horária. O recente Manual da Sociedade Americana de Engenheiros Civis dá as indicações que seguem:

Produção horária mínima	45%
Produção horária máxima	200%
Produção instantânea máxima	270%

Os valores máximos devem ser considerados no dimensionamento das canalizações de gás, que partem dos digestores.

16.06 — Reservação

Em consequência das variações que se verificam na produção de gás, deve-se prever uma reserva adequada nas instalações destinadas ao seu aproveitamento permanente.

Os gasômetros empregados para esta finalidade funcionam como verdadeiros volantes, estabelecendo o equilíbrio entre a produção e o consumo.

Nessas condições, a capacidade dos gasômetros poderá ser determinada pelo diagrama de massas, desde que sejam conhecidas a variação de produção e o regime de utilização.

A forma de aproveitamento do gás é um fator importante no dimensionamento dos gasômetros.

Se o gás for utilizado apenas para aquecimento, a flexibilidade das caldeiras e do sistema térmico será suficiente para compensar as variações de produção.

Nas instalações equipadas com motores a gás, ao contrário, além das variações de produção deverá ser levado em conta o regime de consumo, e neste caso, o número de horas de trabalho dos motores e a escala de funcionamento constituem fatores importantes.

Na prática verifica-se que o volume a reservar aproxima-se tanto mais do valor médio diário da produção, quanto maior for a porcentagem prevista de utilização. Quando se espera aproveitar praticamente todo o gás produzido em uma instalação, recomenda-se armazenar o volume médio diário.

Se for admitido um aproveitamento de 90%, pode-se reduzir a reserva a apenas 40% da produção diária.

Na maioria das instalações o volume dos gasômetros está compreendido entre 20% e 100% da produção média diária.

As menores reservas são feitas nas grandes estações de tratamento, onde há maior flexibilidade e maior controle de operação.

Um estudo interessante, relativo ao aproveitamento do gás de esgotos da importante instalação de Westerley, em Cleveland, para operação de um grande incinerador, mostrou que poderia ser considerada a utilização de 90% da produção anual de gás mediante uma reserva de apenas 1/3 da produção diária.

16.07 — Gasômetros

Nas estações de tratamento de esgotos têm sido empregados os seguintes tipos de gasômetros:

- 1 — Gasômetros de baixa pressão
- | | |
|---|---------------------------------|
| } | 1.1 — Com sêlo hidrico |
| | 1.2 — Com junta móvel mecânica. |

Os gasômetros de baixa pressão, semelhantes aos dos serviços de gás, são do tipo de flutuação. A pressão interna que é estabelecida pelo pêso próprio da estrutura flutuante, geralmente está compreendida entre 7,5 e 30,0 cm. de coluna de água.

Na cúpula de gasômetros dêste tipo recomenda-se a instalação de uma válvula de segurança quebradora de vácuo ou de excesso de pressão, com dispositivo de interseção de chamas.

A vantagem dos gasômetros de gravidade está no fato dêles assegurarem pressão uniforme nos limites de sua capacidade útil.

Os gasômetros de alta pressão são tanques esféricos que recebem denominações comerciais como "Hortonsphere" e que são operados com pressões usualmente compreendidas entre 1,5 e 3,5 atmosferas ou até mesmo superiores.

Instalações dêste tipo compreendem compressores e equipamentos de comando e de segurança, automáticos e de grande sensibilidade.

Os maiores tanques esféricos chegam a ter capacidade superior a 10.000 m³.

Os gasômetros de alta pressão oferecem a vantagem de comprimir o gás a 1/3 ou 1/4 do seu volume normal, ocupando dêste modo menor espaço.

Na construção de gasômetros empregam-se de preferência chapas de aço doce, de pelo menos 6 mm de espessura, com pintura protetora anti-corrosiva.

16.08 — Perigos nas instalações de gás

As instalações para o gás, pela própria natureza dos seus componentes essenciais e pelas características das suas impurezas, oferecem perigos que não devem ser subestimados pelos técnicos responsáveis pelo projeto, construção e operação.

As situações perigosas sempre existem nas estações de tratamento de esgotos, pequenas ou grandes, seja feito ou não, o aproveitamento do gás.

A literatura técnica especializada é copiosa na descrição de inúmeros acidentes ocorridos, muitos dos quais causaram vítimas.

A importância do assunto foi reconhecida há bastante tempo e justamente no ano em curso, completa 25 anos o trabalho realizado pela primeira Comissão Oficial de Peritos, para prevenção de acidentes desta natureza ("Report of Joint Gas Hazard Committee", N.J.S.W.A.).

Os perigos podem ser analisados pelas suas conseqüências, a saber:

a) Explosões

Têm sido a conseqüência mais comum e mais grave de falhas ou erros nas instalações de tratamento de esgotos.

As experiências feitas pelo "Underwriters Laboratories Inc.", nos Estados Unidos, mostraram que as explosões com o metano no ar ocorrem com concentrações dêsse gás compreendidas entre 5,8 e 13,5% em volume, e que a intensidade e velocidade de propagação é uma função da concentração, sendo máxima em tôrno de 9,8% e mínima para valores próximos daquêles limites indicados.

b) Incêndios

Sempre que a porcentagem de metano no ar exceder a 13,5% em volume, o gás queima-se sem efeitos explosivos.

A queima em circunstâncias inesperadas pode ser a causa de incêndios ou de queimaduras, com prejuízos para as instalações e perigo para os operadores.

c) **Toxidês**

Sob êste aspecto, o principal composto a ser considerado é o H_2S , que é um gás extremamente tóxico.

Em concentrações de

0,05 a 0,07% pode causar acidentes graves;
0,07 a 0,10% pode causar acidentes fatais.

Felizmente a presença de H_2S no gás produzido nas estações de tratamento de esgotos é ocasional e os teores são relativamente baixos, raramente ultrapassando 0,03%. Nas grandes instalações de Baltimore e Londres (Mogden), os teores máximos encontrados no gás foram respectivamente 0,012 e 0,017%.

d) **Asfixia**

O gás de esgotos geralmente é inodoro, de maneira que a sua presença em ambientes confinados pode não ser rapidamente pressentida.

A presença de CO_2 e CH_4 , em grandes quantidades no ar, reduz a porcentagem normal de oxigênio (20,99% em volume), podendo provocar a asfixia.

A providência que se recomenda consiste em projetar os compartimentos sujeitos à penetração do gás com boa ventilação e sempre com acesso para o exterior.

16.09 — Dispositivos de segurança e aparelhos acessórios

Com o objetivo de evitar que prevaleçam condições perigosas nas estações de tratamento de esgotos, as instalações de gás devem ser equipadas com dispositivos especiais de segurança e aparelhos acessórios.

Equipamentos especiais para essa finalidade foram idealizados, a partir de 1931, e, atualmente são fabricados em série.

Nos Estados Unidos duas grandes companhias especializam-se na sua produção: a Pacific Flush Tank Co. (P.F.T.) e a Vapor Recovery Systems Co. (Varec).

Alguns aparelhos podem ser considerados essenciais, havendo outros, cujo emprêgo é desejável, porém não indispensável. Os dispositivos relacionados, a seguir têm sido instalados:

1 — De Segurança

- 1.1 — Válvulas limitadoras de pressão e quebradoras de vácuo; podem ser associadas a interceptores de chamas;
- 1.2 — Cortadores de chamas;
- 1.3 — Retentores de chamas;
- 1.4 — Válvulas de segurança para explosões;
- 1.5 — Reguladores de pressão;
- 1.6 — Válvulas de retenção.

2 — De purificação

- 2.1 — Interceptores de sedimentos ("traps");
- 2.2 — Purgadores ("Drip Traps");
- 2.3 — Purificadores de H_2S .

3 — De contrôle (Medidores)

3.1 — Manômetros

3.2 — Medidores de vazão.

4 — Queimadores de gás

Qualquer instalação com digestores fechados deve ser equipada com queimadores de gás, para eliminar o gás excedente.

Os queimadores de gás devem ser localizados a mais de 7,5 metros dos digestores e devem ser precedidos por cortadores de chamas e reguladores de pressão.

Esses dispositivos funcionam automaticamente existindo uma chama piloto, permanente, alimentada por canalização própria, para dar início à queima.

A abertura automática para a queima do excesso de gás se verifica a uma pressão preestabelecida, pouco inferior (1,0 a 2,5 cm. de coluna de água) à pressão máxima fixada para a câmara de gases nos digestores.

16.10 — Usos do gás de esgotos

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 (em bujões ou em redes de distribuição);

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 esses 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.

16.11 — Produção de energia em motores fixos

Atualmente pode-se considerar prática consolidada o aproveitamento do gás em motores de explosão. Têm sido empregados os seguintes tipos de motores:

- a) Motores comuns, a gás, de baixa compressão;
- b) Motores a dois combustíveis ("dual"), que podem funcionar com gás ou óleo e que geralmente trabalham com misturas contendo de 4 a 8% da quantidade de óleo que seria necessária para funcionamento exclusivamente com óleo.
- c) Motores super alimentados, que recebem o combustível sob pressão.

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

$$n = \frac{75 \text{ kgm/s} \times 3.600}{V \times 427 \text{ kgm/Cal} \times C} = \frac{632}{V.C}$$

n = Rendimento mecânico do motor

V = Volume do gás consumido por CV, m³/h.

C = Poder calorífico inferior (*) do gás, Kcal/m³.

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.

A água aquecida geralmente é utilizada para calefação de edifícios (em regiões de clima frio) e para aquecimento dos digestores.

Consumo de motores a gás
(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 ³ /CVh*	0,435 — 0,545	0,315 — 0,435	0,300 — 0,315

* Na base de 5.800 Cal/m³.

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

- a) Compressores de ar;
- b) Bombas centrífugas;
- c) Alternadores.

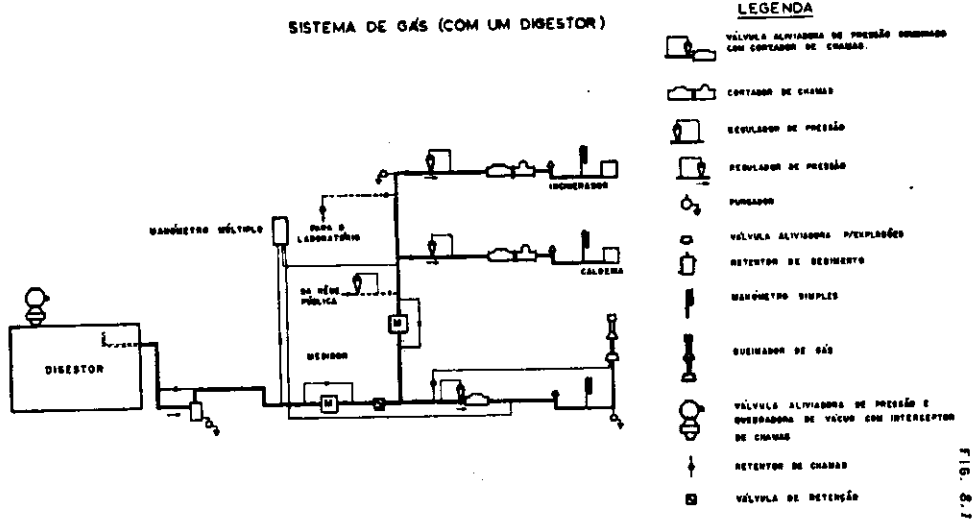


FIG. 7 — Disposição das peças de segurança e aparelhos acessórios nas instalações com um digestor (Varec).

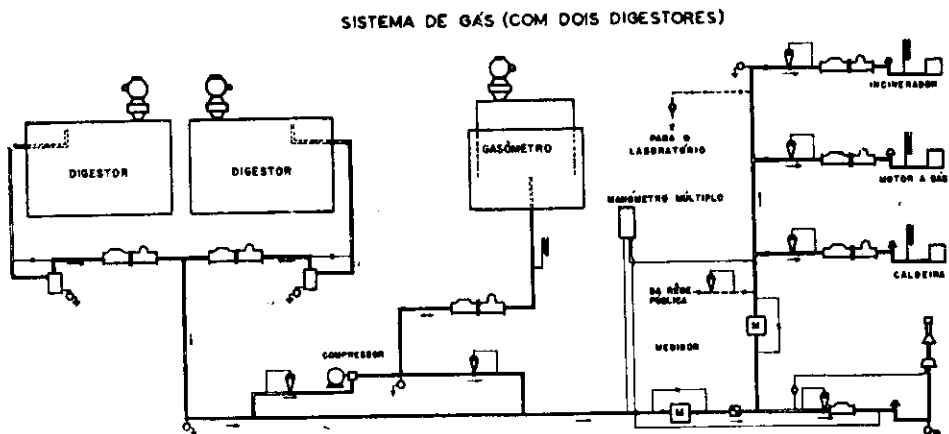


FIG. 8 — Disposição das peças de segurança e aparelhos acessórios nas instalações com dois digestores (Varec).