

# Aproveitamento do Gás de Esgotos (\*)

ENG. JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO

"By the marvellous adaptation of natural forces to the services of man, the crude and offensive materials discharged from a great industrial area are quickly transformed into innocuous solids and an effluent the purity of which leaves nothing to be desired, while even the gas driven off by the fermentation serves to drive the engine which provides the work with light and power.

I know of no more remarkable or admirable adaptation of Science to the practical problems of civilization".

**Ministro Neville Chamberlain**, em uma visita às instalações de Birmingham, 1927.

## 1 — INTRODUÇÃO. IMPORTANCIA DO ASSUNTO

Atribui-se a Alexandre, o Grande, a prudente predição de que sempre seria necessário limitar-se o tamanho das cidades a 100.000 habitantes, pois seria impraticável a manutenção das condições de saneamento em aglomerações mais populosas.

Não obstante a prudência dessa observação e o ideal de numerosos estudiosos de questões urbanas, não foi esse o desejo da astuta Clío.

A princípio o imperialismo, depois o colonialismo e em seguida o comércio e a indústria além de outras causas foram os grandes fatores da hipertrofia urbana.

Coube à eletricidade importante parcela de responsabilidade nesse fenômeno de expansão: A instalação de grandes centros de produção e as limitações da técnica de transmissão que caracterizaram o início da era da eletricidade, foram incentivos para a aglomeração industrial e, conseqüentemente, muito contribuíram para o rápido crescimento urbano dos núcleos manufatureiros.

Exemplo típico, nós encontramos hoje em nossa própria terra e há séculos, em outras civilizações.

Roma, ao tempo de Augusto, já havia ultrapassado 1.000.000 de habitantes. Paris no fim do século XII já contava com 100.000 cidadãos e a grande epidemia de peste levantina de 1.665, causou quase cem milhares de vítimas em Londres.

Atualmente, cerca de 45% da população australiana reside em cidades com mais de 100.000 habitantes. Na Inglaterra e nos Estados Unidos, esse índice aproxima-se de 39% e 27%, respectivamente. E, em nosso país, uma sexta parte da população reside em cidades desse porte ou maiores.

Todavia, não foi descabido o vaticínio de Alexandre: Os problemas citadinos surgiram e se avultaram obrigando-nos a uma luta contínua e sem vitória.

A notável Comissão Real Britânica, designada para investigar as condições de vida nas grandes cidades da Inglaterra e do país de Gales, relatava, em 1845: "So long as the inhabitants of the most neglected and filthy abodes in crowded cities are unable to provide for themselves better and healthier dwellings, sufficient light and air, more open situation, effective cleansing and drainage, and adequate supplies of water, their vigour and health are undermined, and their lives shortened by the deleterious external influences consequent upon the want of efficient arrangements for securing the above objects" (54).

(\*) Tese apresentada à Comissão Julgadora do concurso para provimento do cargo de Professor Catedrático de Tratamento de Águas de Abastecimento e Residuárias, da Faculdade de Higiene e Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

Situação não muito diversa, ainda, é encontrada em bairros pobres e sobretudo na zona periférica das grandes cidades modernas.

O extraordinário progresso alcançado pelo urbanismo e pela engenharia sanitária, daquela época para cá, constitui uma legítima esperança de dias melhores.

Esta cidade de Piratininga com todos os seus sucessos e dificuldades, apresenta-se hoje, como um extraordinário campo de observações.

São Paulo é a metrópole industrial ímpar que se expandiu extraordinariamente em um planalto a 750 metros acima do nível do mar.

Assim localizada, a cidade situa-se, praticamente nas cabeceiras do Tietê, em região onde são exíguos os recursos hídricos.

Dois problemas decorrem diretamente dessa situação particular: As limitações dos mananciais para suprir as demandas sempre crescentes de água, e a insuficiência de descarga nos cursos d'água para a diluição e afastamento dos resíduos da atividade urbana.

Para assegurar o abastecimento futuro de água, estão sendo planejadas importantes obras de aproveitamento de águas das vertentes marítimas mais próximas, mediante a sua reversão para o planalto (15).

Como solução para o segundo problema foi delineado um plano de larga envergadura, compreendendo a construção de 6 grandes estações de tratamento de esgotos:

**QUADRO 1.1 — ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS PREVISTAS PARA SÃO PAULO (21)**

E s t a ç õ e s	1 9 7 5		2 0 0 0	
	População	Vazão méd.	População	Vazão méd.
V. Leopoldina .....	907.700	3,64 m <sup>3</sup> /s	1.113.000	4,57
Pinheiros .....	401.800	1,57	495.000	2,02
São Caetano(*) .....	689.000	3,09	1.064.000	4,65
Penha .....	815.150	2,58	1.121.500	3,36
Casa Verde .....	617.600	2,71	761.500	3,45
Santo Amaro .....	159.500	0,61	281.000	1,05
Totais .....	3.590.750	14,20	4.836.000	19,10

(\*) Estes valores serão alterados.

A primeira dessas instalações já se encontra em pleno funcionamento, com tratamento primário, contribuindo para aliviar o Tietê da sua intolerável sobrecarga.

O tratamento de esgotos é uma operação dispendiosa, sobretudo pelo seu elevado custo inicial.

Dois sub-produtos do processo de estabilização da matéria orgânica podem contribuir para a economia do serviço: O lodo digerido e o gás da digestão.

O aproveitamento do lodo digerido tem sido objeto de inúmeras investigações e experiências, existindo a respeito profícua literatura técnica, além de um excelente manual preparado pela "Federation of Sewage Works Associations"(\*).

(\*) Manual of Practice N.º 2, 1946.

Situação diversa é a que diz respeito à utilização do gás de esgotos. Embora volumosa e diversificada, a bibliografia encontra-se esparsa e na maioria das vezes retrata situações de extrema particularidade.

O assunto geralmente desperta interesse e entusiasmo e em nosso meio já tem sido objeto de diversos trabalhos divulgados (8), (29), (30), (42), (45) e (48).

A importância do assunto pode ser ressaltada pelos dois fatos seguintes:

- 1 — No projeto, na construção e na operação as instalações relativas ao gás merecem especiais cuidados para que sejam mantidas as condições mínimas de segurança;
- 2 — A prática tem demonstrado que a utilização adequada dos gases obtidos na digestão pode contribuir, substancialmente, para a economia do serviço.

Este aspecto econômico evidencia-se no caso de São Paulo:

A produção atual de gás na Estação de Tratamento de Esgotos de Vila Leopoldina, pode ser estimada em 14.700 m<sup>3</sup>/dia. Admitindo-se que 4.100 m<sup>3</sup>/dia, sejam utilizados na própria Estação de Tratamento, restariam 10.600 m<sup>3</sup> diários, de gás disponível.

Ao preço vigente para venda em quantidade, de Cr\$ 6,00/m<sup>3</sup>, o valor mensal da produção excedente seria de Cr\$ 1.908.000,00, importância superior a três vezes o estipêndio mensal de todo o pessoal da estação.

A produção de gás estimada para todas as estações de tratamento de esgotos previstas, no ano de 1975, se aproximaria de 70.000 m<sup>3</sup>/dia, correspondente a mais de Cr\$ 400.000,00 diários.

Essa quantidade futura, de gás, seria suficiente para acionar continuamente motores a gás, totalizando mais de 7.000 CV.

As considerações que acabam de ser feitas levaram o autor a investigar mais detidamente o assunto, baseando-se na sua atividade nesse setor técnico, como engenheiro do Departamento de Águas e Esgotos da Capital.

A Tese ora apresentada, consubstancia os resultados do seu trabalho e representa um esforço, no sentido de colaborar para a solução mais vantajosa para um dos importantes problemas de São Paulo.

Procurou o autor imprimir a esta Tese, o espírito didático, objetivando com isso, torná-la mais útil, não só para os engenheiros que se dirigem à Faculdade de Higiene e Saúde Pública, à procura de especialização acadêmica, mas também, para inúmeros outros que labutam por todos os recantos pátrios, no afã de bem servir a coletividade.

## 2 — O GAS DE ESGOTOS. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

### 2.1 — O GAS 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 calorías 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. Em circunstâncias semelhantes ele também pode se formar em cemitérios e depósitos de lixo. Esse gás pode, ainda, ser encontrado nas minas de Hulha, onde, em mistura com o ar atmosférico tem sido a causa de perigosas explosões.

Inflamando-se naturalmente, com o hidrogênio fosforado, o metano produz o **fogo fátuo**.

### 2.2 — ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Produzindo-se naturalmente, à medida que avança o estado séptico em líquidos cloacais ou que progride a digestão de lodos, o gás de esgotos é conhecido e vem sendo estudado desde os primórdios da técnica de esgotamento.

Conta-se que em 1843, na cidade inglesa de Bradford, os meninos divertiam-se ateando fogo aos gases que se desprendiam de um canal fortemente poluído por esgotos, sob as vistas de terror dos barqueiros, cujas embarcações encontravam-se nas imediações (1).

Com o advento do tratamento de esgotos as questões relativas ao gás produzido, incluindo medidas de proteção e formas de aproveitamento, passaram a constituir maior preocupação para os engenheiros e técnicos empenhados nesse setor técnico.

Donald Cameron, o escocês que, em 1896, introduziu e aperfeiçou o tanque séptico na Inglaterra, foi o pioneiro na utilização do gás de esgotos, tendo obtido algumas patentes para essa finalidade.

Na instalação construída em 1896, no distrito de São Leonardo, Exeter, para servir 1.500 habitantes, os gases foram aproveitados para iluminar o local.

Naquela época a quantidade produzida foi estimada em cerca de 1 pé cúbico diário, por pessoa (28,3 litros).

Nos Estados Unidos as investigações foram iniciadas cinco anos mais tarde, em Worcester, Massachusetts, pelo Dr. L. P. Kinnincutt e pelo engenheiro H. P. Eddy. Com essa finalidade construíram um tanque séptico inteiramente fechado, aproveitando o cilindro de uma caldeira, de 1,53 de diâmetro e 4,27 m de comprimento, com dispositivos necessários de entrada, saída, inspeção, coleta e medição de gás.

As observações mostraram a variação da produção de gás em função da temperatura no decorrer do ano.

Estudos igualmente valiosos foram conduzidos por Clark na famosa Estação Experimental de Lawrence, cujos resultados foram publicados pelos relatórios do "Massachusetts State Board of Health" dos anos de 1899 até 1903.

A primeira instalação para utilização do gás na produção de força, parece ter sido feita em 1902, por C. C. James, na pequena estação de tratamento de esgotos do Leprozário de Matunga, em Bombaim, onde um pequeno motor de 0,5 CV foi posto a funcionar com o gás (31).

Já em 1911, na localidade de Parramatta, New South Wales, foi iniciada a distribuição do gás em parte da cidade.

---

(\*) Também denominado gás cloacal e gás de digestão. Em inglês "sludge gas", "sewage gas".

Nos Estados Unidos a Estação de Tratamento de Esgotos de Peachtree, em Atlanta, foi a pioneira na utilização do gás. Em 1915, C. Hommon fez a cobertura das áreas destinadas à escuma dos tanques Imhoff e captou o gás para aproveitá-lo para calefação e como combustível, em cozinhas.

O Emschergenossenschaft, Alemanha, em 1914, introduziu a técnica de aquecimento dos digestores, com a utilização dos gases coletados (20).

Na América essa técnica foi aplicada pela primeira vez, em 1926, nas instalações de Plainfield, Nova Jersey e Antigo, Wisconsin.

Em 1921, O Eng. Watson, fez a instalação do primeiro motor a gás na tradicional estação de tratamento de Birmingham. Na Alemanha, o aproveitamento do gás para distribuição na rede pública das cidades foi promovida pela primeira vez, em 1923, nas instalações de Essen — Rellinghansen.

Alguns anos mais tarde, em 1927, inaugurou-se a importante estação de tratamento de Gross Zietter, onde o gás produzido, além de fornecer toda a energia para as bombas, era suficiente para suprir as necessidades domésticas de um bairro de 8.000 habitantes.

Nesse mesmo ano o Ruhrverband pôs em prática, o reaproveitamento da água de resfriamento dos motores, para aquecimento dos digestores.

Foi ainda em 1927, que o Eng. inglês H. C. Whitehead introduziu na instalação de Birmingham o original sistema de coleta de gás até hoje em funcionamento, e que consiste em estruturas flutuantes de concreto armado. A quantidade de gás inicialmente captada ascendia a 1.250 m<sup>3</sup>/dia.

Sobre essa notável iniciativa escreveu o estadista Chamberlain as palavras que antecipam o presente trabalho.

A grande instalação para o aproveitamento de gás na Estação de Mogden (Inglaterra), foi concluída em 1935.

Poucos anos mais tarde, os motores a gás dessa instalação foram convertidos em máquinas "dual fuel", aproveitando pela primeira vez a notável invenção inglesa.

Em 1940, somente nos Estados Unidos, os motores a gás instalados excediam a potência de 35.000 CV. Dez anos mais tarde essa potência veio a ser considerada, apenas, nas estações de tratamento de esgotos da cidade de Nova Iorque.

No Brasil, o eng. J. P. de Jesus Netto, foi o pioneiro a introduzir, em 1934, na Instalação Experimental de Tratamento de Esgotos da Ponte Pequena, em São Paulo, um pequeno motor conjugado a um alternador de 6,5 KVA.

Poucos anos depois (1938), a antiga Repartição de Águas e Esgotos inaugurava a sua modelar Estação Experimental de Tratamento de Esgotos do Ipiranga, com digestão separada de lodos, gasômetros e um motor adaptado, de 15 CV, acoplado a um alternador de 10 KVA, que fornecia a energia necessária à iluminação da estação e a pequenos usos de emergência. Esse motor, até 1941, funcionou durante 10.000 horas.

Outras instalações foram executadas posteriormente no Brasil, incluindo a Estação de Tratamento de Esgotos da Penha, Distrito Federal, equipada com um conjunto de 4 cilindros e 60 CV.

Na pequena estação de tratamento de esgotos do Hospital de São Luiz Gonzaga e Asilo de Velhos do Jaçanã, construída e operada pela R. A. E. (hoje D.A.E.), o gás foi aproveitado, desde 1938, como combustível nos laboratórios e na cozinha hospitalar.

## 3 — DIGESTÃO. TEORIAS DA FORMAÇÃO DO GAS

## 3.1. — DIGESTÃO

A digestão dos lodos é um processo de decomposição anaeróbia, conduzido sob condições controladas, com os objetivos seguintes:

- 1 — Destruir bactérias patogênicas;
- 2 — Reduzir e estabilizar a matéria orgânica dos lodos frescos (muito putrescível);
- 3 — Reduzir o volume de lodos, através da liquefação, gaseificação, adensamento e remoção das fases líquida e gasosa;
- 4 — Facilitar a secagem dos lodos resultantes;
- 5 — Utilizar os lodos digeridos e estabilizados como fonte de húmus;
- 6 — Aproveitar os gases resultantes.

Na ausência de oxigênio perdem os organismos aeróbios, que não são capazes de utilizar o oxigênio contido na matéria orgânica. Eles são substituídos por bactérias anaeróbias que podem aproveitar o oxigênio combinado.

Estabelecem-se, assim, os processos de decomposição anaeróbia, com os conhecidos ciclos do azoto, carbono e enxofre (fig. 3.1).

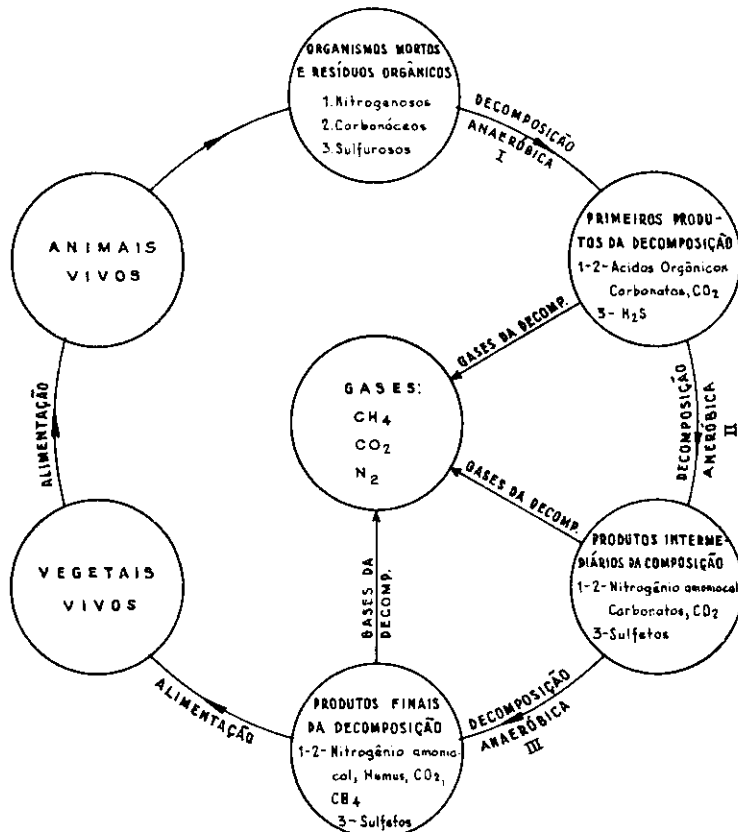


FIG. 3.1. — Ciclos do azoto, carbono e enxofre.

Os produtos finais da decomposição anaeróbia são gases e substâncias nutritivas para as plantas. A utilização destas substâncias pelos vegetais possibilita o aproveitamento posterior pelos animais, fechando-se assim os ciclos.

A produção de gás durante as fases anaeróbias possibilita o controle dos processos e a avaliação da sua velocidade.

Na digestão de lodos frescos, sem a mistura com material previamente digerido e com a adição de matéria orgânica durante o processo, podem ser distinguidos três estágios.

Cada estágio se caracteriza pela produção de determinadas substâncias, pelas transformações da flora e alterações de cheiro e pH.

**I — Período de produção intensiva de ácidos (acidificação):** Inicia-se imediatamente com a “quebra” dos alimentos e compostos de mais fácil decomposição: Compostos nitrogenosos solúveis, amiláceos, gorduras. Grande produção de  $\text{CO}_2$ . Produtos:  $\text{H}_2\text{S}$ , ácidos orgânicos, bicarbonatos. pH na zona ácida: 5,1 a 6,8 (às vezes até 4,7).

**II — Período de digestão de ácidos (Regressão, liquefação):** Ataque aos ácidos orgânicos e compostos nitrogenosos. Produção de pequenas quantidades de gás,  $\text{CO}_2$ , nitrogênio e hidrogênio. Produção de compostos de amônia e bicarbonatos.

Mau cheiro causado por  $\text{H}_2\text{S}$ , indol e mercaptanas. Grande parte dos sólidos passa a sobrenadar (1/2 a 4/5). O pH se eleva até 6,6 ou mesmo 6,8.

**III — Período de digestão intensa ou de fermentação alcalina (estabilização e gaseificação):** Digestão de materiais mais resistentes. Proteínas, aminoácidos, celulose etc. são atacados (além de outros compostos nitrogenosos). Produção de amônia, sais de ácidos orgânicos e grandes volumes de gás, principalmente metano e quantidades menores de  $\text{CO}_2$  e nitrogênio. Cheiro de alcatrão. Pequena ou nenhuma quantidade de sólidos sobrenadantes.

O pH passa para a zona alcalina: 6,9 a 7,4. Os lodos apresentam o efeito tampão, não se alterando o pH, mesmo com a adição de volumes apreciáveis de ácidos ou álcalis (lodos ricos em flora e enzimas).

O B.O.D. é rapidamente reduzido.

Os três estágios de digestão podem ser observados pelas alterações de pH e pelas variações de produção de gás (Fig. 3.2).

Esse processo, de operação descontínua, é muito demorado. Na prática ele é acelerado, mediante a introdução e o controle de fatores favoráveis.

Técnicamente a digestão é um processo contínuo com a adição permanente de novas quantidades de lodos frescos produzidos.

Nas instalações normais todos os três estágios podem ocorrer simultaneamente nos digestores.

Os fatores que influenciam diretamente a digestão, podendo modificar a velocidade de decomposição são: A adição diária de quantidades convenientes de lodos frescos (“semadura ou inoculação”), o pH, a temperatura e a agitação.

**1 — Inoculação:** Com a adição diária de lodos frescos em proporções adequadas ao lodo digerido, pode ser estabelecido o equilíbrio desejável entre os alimentos (matéria orgânica) e os organismos com suas enzimas, indispensáveis a uma digestão mais rápida. Os lodos, em digestão avançada, contém substâncias que exercem o efeito de “tampão” sobre os produtos intermediários da decomposição.

Os efeitos da sementeira estão evidenciados na fig. 3.2.

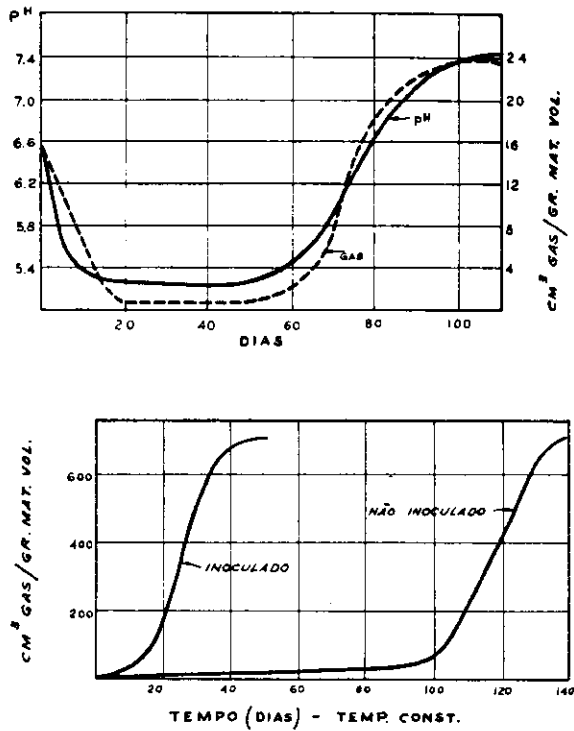


FIG. 3.2. — a) Alteração do pH e variação da produção de gás durante a digestão:

b) Efeito benéfico da sementeira durante a digestão.

A quantidade total de gás produzido não é aumentada pela “inoculação”, porém a velocidade de produção é alterada, no sentido de dar ao processo maior uniformidade.

- 2 — **pH favorável (zona ligeiramente alcalina):** pH = 7,0 a 7,4. Em certas condições pode se tornar conveniente a adição de álcali para ajustagem do pH.

Normalmente, nos digestores bem dimensionados e convenientemente operados, uma vez atingida a fase alcalina ela se mantém pela ação “tampão” dos lodos.

- 3 — **Temperatura conveniente:** Os estudos de digestão e gaseificação realizados por Fair e Moore (18) mostraram que existem duas zonas ótimas para o processo:

30 a 40° C — Digestão mesófila

50 a 57° C — Digestão termófila

Nos digestores não aquecidos a temperatura raramente ultrapassa 22° C. Em São Paulo obtivemos os seguintes dados de leituras feitas no termógrafo do Digestor n.º 1 da Estação Experimental de Tratamento de Esgotos do Ipiranga (1943):

Temperatura média .....	19,9° C
Média das temperaturas mínimas .....	18,7° C
Média das temperaturas máximas .....	21,0° C



A variação de temperatura nos tanques Imhoff é pouco mais acentuada devido à influência do líquido em escoamento.

Nos países de inverno rigoroso é necessário o aquecimento, e foi esta necessidade, aliás, uma das razões técnicas — que sugeriram o estabelecimento da digestão separada.

A temperatura considerada ótima na prática geralmente está compreendida entre 30 e 35° C.

Os digestores da Estação de Tratamento de Esgotos de Vila Leopoldina foram projetados e instalados para serem operados a 32° C.

O período de detenção nos tanques, para uma digestão técnica é função da temperatura e corresponde a cerca de 25 dias a 34° C.

- 4 — **Agitação:** A mistura do material contido nos digestores (lodos parcialmente digeridos e lodos no estágio final de digestão), com os lodos frescos introduzidos, contribui para acelerar e melhorar o processo de digestão.

A agitação facilita o escapamento dos gases produzidos, da massa em digestão, assegurando continuidade e maior uniformidade na produção de gás.

Um estudo, abrangendo 25 instalações, mostrou que nos digestores equipados com agitadores mecânicos a produção de gás é mais elevada do que nos tanques sem agitação. Essa constatação foi confirmada por Heukelekian (35).

Os lodos frescos constituem uma suspensão heterogênea de substâncias orgânicas e inorgânicas incluindo gorduras, carboidratos e proteínas em teores variáveis.

A digestão realiza-se com "ataque" de bactérias a essas substâncias, como fonte de energia e de compostos necessários à síntese intra-celular.

Nessa atividade, as enzimas exercem importante ação como agentes catalíticos orgânicos.

Com a digestão são obtidas a liquefação, e gaseificação, a mineralização e a huminifacção da matéria orgânica.

A liquefação compreende a produção e liberação de água, assim como, a transformação de grandes partículas de lodo em substâncias solúveis ou finamente dispersas. Este parece ser um processo extracelular, que depende fundamentalmente da ação enzimática (35).

A gaseificação é um processo intracelular considerado essencial para a digestão. Aliás, a boa operação das instalações consiste justamente no equilíbrio e na harmonia destas duas fases.

A parcela de matéria orgânica que não é convertida em gás apresenta condições de maior estabilidade, sendo excedida pela quantidade de substâncias minerais (mineralização).

O produto final, relativamente estável, sem cheiro ofensivo e de cor escura, assemelha-se ao húmus, isto é, à matéria orgânica encontrada em terrenos onde existem detritos vegetais em decomposição lenta.

### 3.2 — TEORIAS SÓBRE A FORMAÇÃO DO GAS

Embora há quase dois séculos se tenha traçado a origem do metano à decomposição da matéria orgânica, somente há algumas décadas, passou-se a ter conhecimento mais profundo dos processos biológicos envolvidos na sua produção, assim como, dos fatores que permitem controlá-los.

A técnica do tratamento de resíduos urbanos contribuiu ponderavelmente para essa evolução dos conhecimentos, graças às investigações de pesquisadores como Barker, Buswell, Fair, Moore, Rudolfs, Heukelekian e outros.

Entretanto, os conhecimentos atuais, relativos aos organismos responsáveis pela produção do metano, e ao seu comportamento, ainda podem ser considerados insatisfatórios.

Em 1906, N. L. Söhngen investigou as atividades de uma cultura impura, de bactérias produtoras de metano e concluiu que alguns ácidos graxos podiam ser transformados em metano e bióxido de carbono, e que este, juntamente com hidrogênio também poderiam, através da fermentação, formar o metano.

Posteriormente, outras investigações vieram mostrar que várias substâncias orgânicas, como, por exemplo, os carboidratos, os alcoois etc., também são fermentáveis com a produção de metano e gás carbônico.

Observações feitas por bacteriologistas mostraram que a transformação de carboidratos, proteínas e gorduras em ácidos gordurosos de estrutura mais simples, álcoois e quetonas, pode ser feita através da ação de diversos grupos de bactérias anaeróbias. Todavia, a decomposição posterior desses produtos intermediários para a formação de metano parece constituir atividade específica de um grupo especial de bactérias não esporuladas, as bactérias "metanogenas" (20).

Entre essas bactérias, incluem-se aquelas que produzem metano a partir do ácido acético: os cocos (*Methanosarcina methanica* e *Methanococcus Mazei*) e bacilos (*Methanobacterium Söhngenu*), e as bactérias capazes de atacar o álcool etílico para produção de metano (*Methanobacterium Omelianskii*).

Barker foi o primeiro investigador a conseguir, em 1940, uma cultura pura de bactérias metanogenas. Após o seu trabalho pioneiro, três outras espécies puderam ser isoladas em culturas puras, e mais quatro espécies foram estudadas em culturas impuras.

Os conhecimentos atuais dos organismos produtores de metano mostram que:

- a) são bactérias estritamente anaeróbias;
- b) exigem a presença de  $\text{CO}_2$  ;
- c) são extremamente sensíveis ao pH, sendo mais ativos na zona compreendida entre 6,4 e 7,2.

As 9 espécies conhecidas dessas bactérias estão indicadas no quadro abaixo, do trabalho de Barker (6):

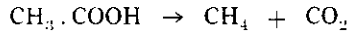
QUADRO 3.2 — BACTÉRIAS PRODUTORAS DE METANO (35)

Bactérias produtoras do metano	Substrato
<i>Methanobacterium formicicum</i>	Formiato, $\text{CO}$ , $\text{H}_2$
<i>Methanobacterium omelianskii</i>	Álcoois primários e secundários, $\text{H}_2$
<i>Methanobacterium propionicum</i>	Propionato
<i>Methanobacterium sohngeni</i>	Acetato e butirato
<i>Methanobacterium suboxydans</i>	Butirato, Valerato e Caproato
<i>Methanococcus mazei</i>	Acetato, butirato
<i>Methanococcus vanielii</i>	Formiato, $\text{H}_2$
<i>Methanosarcina methanica</i>	Acetato, butirato
<i>Methanosarcina barkerii</i>	Metanol, acetato, $\text{HCO}$

Admite-se, atualmente, que o metano possa ser produzido através de dois caminhos diferentes:

- 1 — Pela decomposição de produtos intermediários mais complexos, tais como, o ácido acético e o metanol;
- 2 — Pela redução de  $\text{CO}_2$  na presença de hidrogênio e de produtos intermediários da digestão.

O primeiro mecanismo, exposto por Buswell e seus colaboradores, estabelece que o ácido acético é cindido em metano e  $\text{CO}_2$ :



A segunda hipótese, formulada inicialmente por Barker, considera a formação do metano a partir da desidrogenação de compostos orgânicos mais complexos e, simultaneamente, em consequência da redução do  $\text{CO}_2$ .

Heukelekian resume o estado atual dos conhecimentos, como segue: "Aparentemente o metano resulta da decomposição de muitos compostos orgânicos, através de numerosas ações e reações interdependentes. Os microorganismos responsáveis por essas numerosas reações, até hoje, ainda, não são perfeitamente conhecidos" (35).

## 4 — PRODUÇÃO, COMPOSIÇÃO E PODER CALORÍFICO

## 4.1. — PRODUÇÃO DE GAS

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:

QUADRO 4.1 — PRODUÇÃO DE GAS: VALORES MÉDIOS  
(litros diários/hab. servido)

D a d o s	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  $\text{CO}_2$  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%
Lôdos ativados .....	+ 25%

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

Precipitação químico .....	23 litros
Filtração biológica de baixa capacidade .....	22 "
Filtração biológica de alta capacidade .....	23 "
Lôdos ativados .....	25 "

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 lodos etc.

Considera-se, mesmo, que a produção de gás em quantidade e qualidade é o melhor índice de operação dos digestores (5).

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 lodos 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 régra aproximada para a estimativa da produção de gás em função da temperatura:

$$q = 16 t + 285$$

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.

#### 4.2.2 — 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<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>. Além desses componentes, encontram-se com menos freqüência e em pequenas quantidades, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S e CO(\*\*).

Com a introdução de ar, eleva-se o teor de N<sub>2</sub> e apresenta-se o O<sub>2</sub>, com possibilidade de formação de misturas explosivas ou inflamáveis.

O quadro 4.2.1., sintetiza os resultados de análises de 32 estações de tratamento de esgotos(\*\*\*) .

(\*) Os esgotos domésticos, geralmente, contém 39 gramas de matéria orgânica/pessoa, em 24 horas.

(\*\*) Em casos excepcionais têm sido mencionados amoníaco, etano, pentano, etc. A respeito da presença de CO, v. a observação da página seguinte.

(\*\*\*) Valores arredondados de C. E. Keefer.

QUADRO 4.2.1 — COMPOSIÇÃO DO GÁS DE ESGOTOS

Componente	Teores limites		Valor mediano
CH <sub>4</sub> .....	54	— 77 <sup>o</sup> <sub>o</sub>	67 <sup>o</sup> <sub>o</sub>
CO <sub>2</sub> .....	14	— 34 <sup>o</sup> <sub>o</sub>	30 <sup>o</sup> <sub>o</sub>
N <sub>2</sub> .....	0	— 9 <sup>o</sup> <sub>o</sub>	3 <sup>o</sup> <sub>o</sub>
H <sub>2</sub> .....	0	— 11 <sup>o</sup> <sub>o</sub>	3 <sup>o</sup> <sub>o</sub>
O <sub>2</sub> .....	0	— 2 <sup>o</sup> <sub>o</sub>	0,4 <sup>o</sup> <sub>o</sub>
H <sub>2</sub> S (*) .....	0,004	— 0,900	0,01 <sup>o</sup> <sub>o</sub>

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<sub>2</sub> se dilui no líquido em escoamento, saindo com o efluente.

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

QUADRO 4.2.2 — COMPOSIÇÃO NORMAL DO GÁS

	Tanques Imhoff	Digestores
CH <sub>4</sub>	70 — 80 <sup>o</sup> <sub>o</sub>	65 — 70 <sup>o</sup> <sub>o</sub>
CO <sub>2</sub>	20 — 30 <sup>o</sup> <sub>o</sub>	30 — 35 <sup>o</sup> <sub>o</sub>

Os valores médios da composição do gás de esgotos produzido na Estação Experimental de Tratamento de Esgotos do Ipiranga, em São Paulo, encontram-se na parte 5.1, dêste trabalho.

#### 4.3. — PODER CALORÍFICO

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/m<sup>3</sup>.

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.

O quadro 4.3 é de grande utilidade para as avaliações térmicas.

(\*) Resultados de apenas 7 instalações.

(\*\*) E' de se extranhar a presença de CO em gás de esgotos. A citação é feita apenas devido ao fato de se encontrar análises com a indicação dêsse composto.

QUADRO 4.3.A — CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DOS PRINCIPAIS COMPONENTES DO GÁS DE ESGOTOS (23)

Gás	Peso molecular	Densidade relativa ao ar	Peso espec. Kg/m <sup>3</sup> seco, a 15° C 1 atm.	Temp. teórica da chama
Metano .....	16,03	0,5534	0,677	2065° C
CO <sub>2</sub> .....	44,01	1,5288	1,869	—
H <sub>2</sub> .....	2,02	0,0695	0,085	2210° C
N <sub>2</sub> .....	28,02	0,9671	1,184	—

QUADRO 4.3.B — CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DOS PRINCIPAIS COMPONENTES DO GAS DE ESGOTOS (23)

Gás	Poder cal. inf. Kcal/m <sup>3</sup>			Poder cal. sup. Kcal/m <sup>3</sup>		
	Sêco 0° C 1 atm.	Sêco 15,5° C 1 atm	Sat. água 15,5° C 1 atm	Sêco 0° C 1 atm	Sêco 15,5° C 1 atm	Sat. água 15,5° C 1 atm
	Metano ...	8.570	8.116	7.974	9.514	9.006
CO <sub>2</sub> .....	—	—	—	—	—	—
H <sub>2</sub> .....	2.580	2.483	2.394	3.052	2.883	2.839
N <sub>2</sub> .....	—	—	—	—	—	—

## 5 — CARACTERÍSTICAS DO GÁS, O GÁS COMO COMBUSTÍVEL

## 5.1 — 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/m<sup>3</sup>.

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: 5,6 a 13,5% de metano, em volume.

Com 67% de CH<sub>4</sub>, 30% de CO<sub>2</sub> e 3% de N<sub>2</sub> a sua densidade em relação ao ar é 0,858 e o peso específico a 15,5°C é de 1,05 Kg/m<sup>3</sup>.

O gás, livre de H<sub>2</sub>S, 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.

QUADRO 5.1 — COMPARAÇÃO DO GÁS DE ESGOTOS COM O GÁS DE RUA EM SÃO PAULO

	E. T. E. Ipiranga(*)	C. P. 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 <sub>n</sub> H <sub>m</sub> ) ...	—	5,8%
Densidade (Ar = 1) ..	0,8	0,6
Poder calorífico .....	5.400	4.750

(\*) Estação Experimental de Tratamento de Esgotos J. P. de Jesus Netto.

## 5.2 — O METANO

O componente mais importante do gás de esgotos, o combustível mais importante, o gás valioso, por assim qualificar, é o metano.

O metano, o mais simples dos hidrocarbonetos (o único que contém um só átomo de carbono em sua molécula) é o primeiro termo da série parafínica e também se denomina "gás-dos-pântanos", formena, gás-das-minas e grisu.

E' um gás muito estável, incolor, inodoro, muito pouco solúvel na água e que arde no ar com uma chama azul característica, pouco brilhante.

A configuração da estrutura molecular é admitida como a de um tetraedro regular, em que os quatro átomos de hidrogênio estão em posições equivalentes.



No ar podem ser encontradas quantidades insignificantes de metano, que se desprende da decomposição natural da matéria orgânica, principalmente de origem vegetal.

O metano é um combustível de elevado poder calorífico: 8.570 Kcal/m<sup>3</sup> à pressão atmosférica e 0° C.

As características físicas principais do metano levam aos valores seguintes:

QUADRO 5.2 — CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO METANO (23)

Características	Valores
Pêso molecular .....	16,04
Pêso específico a 0° C e 1 atm, g/l. ....	0,7168
Pêso específico a 20° C e 1 atm, g/l. ....	0,668
Densidade em relação ao ar .....	0,5534
Constante do gás, R, Kgm/Kg, °C .....	52,89
Ponto de fusão, °C .....	—184,0°
Ponto de ebulição, °C .....	—164,7°
Temperatura, crítica, °C .....	— 82,5°
Pressão crítica, atmosferas .....	45,6
C <sub>p</sub> /C <sub>v</sub> , a 0° C .....	1,31
Temperatura de inflamação no ar, °C .....	650-750
Volume de ar necessário à combustão, m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .....	9,52
Viscosidade absoluta, centipoises, a 1 atm, 20° C ....	0,0110
Viscosidade cinemática, centistokes, a 1 atm, 20° C ..	16,50

O metano a — 11° C sômente se liquefaz sob uma pressão de 180 atmosferas.

Em mistura com 90% de ar, o metano se inflama aos 650° C, produzindo uma onda explosiva, cuja velocidade alcança 2.200 m/seg.

O metano combina-se com o cloro produzindo ácido clorídrico e vários produtos clorados de importância industrial, incluindo o metanol (álcool metílico), o clorofórmio (CHCl<sub>3</sub>) etc.

É curioso observar que a análise espectroscópica revela a presença de metano em Júpiter.

### 5.3 — O BIÓXIDO DE CARBONO

O anidrido carbônico é um gás incolor, de cheiro picante e que se dissolve na água formando o ácido carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

Sendo um gás destituído de poder calorífico, numa mistura combustível, frequentemente se considera vantajosa a sua remoção, aproveitando-se para êsse fim a sua solubilidade na água.

A presença de CO<sub>2</sub> na água, reduz o pH e eleva a agressividade para os metais.

A porcentagem de gás carbônico presente no gás de esgotos é influenciada pelo grau de digestão e pela qualidade e quantidade de resíduos industriais presentes.

Os valores apresentados a seguir, correspondem às suas principais características:

QUADRO 5.3 — CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CO<sub>2</sub> (23)

Características	Valores
Pêso molecular .....	44,01
Pêso específico a 0° C e 1 atm, g/l. ....	1,977
Pêso específico a 20° C e 1 atm, g/l. ....	1,842
Densidade em relação ao ar .....	1,5288
Constante do gás, R, Kgm/Kg, °C .....	19,25
Ponto de fusão, °C .....	-56,6°
Ponto de ebulição, °C .....	678,5°
Temperatura crítica, °C .....	31,0
C <sub>p</sub> /C <sub>v</sub> , a 0° C .....	1,305
Viscosidade absoluta, centipoises, a 1 atm, 20° C ....	0,015
Viscosidade cinemática, centistokes, a 1 atm, 20° C ..	8,14

A densidade relativamente elevada do anidrido carbônico é, muitas vezes, inconveniente para as misturas combustíveis.

## 5.4 — OUTROS CONSTITUINTES

Geralmente o metano e o gás carbônico constituem 95% do gás de esgotos em volume, sendo, portanto, os seus componentes principais.

Outros gases, como nitrogênio e o hidrogênio podem se apresentar em pequenas quantidades.

O oxigênio normalmente não deve ser encontrado no gás da digestão e a sua presença eventual deve ser considerada como indicativa de introdução de ar no sistema ou na amostra coletada.

O hidrogênio já tem sido constatado em análises de gás obtido em instalações nacionais.

Os resultados de 8 análises feitas na Estação Experimental de Tratamento de Esgotos do Ipiranga, relativas ao ano de 1947, dão o valor médio de 2,1%.

Na Estação de Tratamento de Esgotos da Penha, Rio de Janeiro, foi encontrado em análise feita em 1942, o valor de 3,0%.

O hidrogênio sendo um gás muito leve e combustível, contribui para pequena redução da densidade do gás e ligeira elevação do seu poder calorífico.

Em quantidades mínimas pode-se encontrar o H<sub>2</sub>S, de efeitos nocivos.

A sua presença reflete em parte o teor de sulfatos das águas de abastecimento. Quantidades anormais (acima de 0,01%) podem decorrer de resíduos industriais, ricos em sulfatos, lançados na rede de esgotos.

## 5.5 — O GAS DE ESGOTOS COMO COMBUSTÍVEL

Ao gás de esgotos podem ser atribuídas as vantagens comuns aos combustíveis gasosos: Condução fácil e econômica, através de tubulações; distribuição simples e prática a um grande número de usuários, simultaneamente, por intermédio de redes distribuidoras; facilidade e eficiência de queima, isto é, de utilização. Essas propriedades asseguram uma situação privilegiada para os gases entre os combustíveis líquidos e sólidos.

E' interessante observar que os combustíveis gasosos com duas exceções, são produtos derivados do carbono. Os compostos de carbono com mais de 5 átomos são líquidos, ou sólidos, em condições normais.

A tecnologia de produção de gás combustível consiste, principalmente, em processos destinados a converter compostos complexos de carbono em substâncias menos complexas, de moléculas mais simples.

O metano é o hidrocarboneto mais simples e o mais importante constituinte das misturas combustíveis. O metano, a etano, o etileno e o hidrogênio são os gases mais desejáveis numa mistura gasosa para combustão.

Todos os gases combustíveis comerciais são misturas em proporções variadas de um certo número de gases constituintes.

G. L. Clark e G. G. Hawley (12) dão a seguinte classificação conveniente para esses constituintes:

- a) Combustíveis desejados: Hidrocarbonetos com um e dois átomos de carbono; CO; H<sub>2</sub>;
- b) Combustíveis eventualmente presentes. Hidrocarbonetos com três ou mais átomos de carbono; H<sub>2</sub> em pequenas quantidades;
- c) Gases inertes; N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>;
- d) Impurezas: H<sub>2</sub>S, CN, NH<sub>3</sub>.

De acordo com o poder calorífico os citados autores sugerem a seguinte classificação:

- 1) Gases de baixo poder calorífico: Com menos de 2.700 Cal/m<sup>3</sup> (geralmente sub-produtos de processos metalúrgicos);
- 2) Gases de poder calorífico médio: 4.500 a 5.500 Cal/m<sup>3</sup> (produzidos a partir do carvão, do coque ou do petróleo);
- 3) Gases de alto poder calorífico: 8.000 a 9.800 Cal/m<sup>3</sup>, tais como, gases naturais e gases derivados do petróleo;
- 4) Gases pesados, de poder calorífico elevadíssimo: 16.000 a 29.400 Cal/m<sup>3</sup>: principalmente sub-produtos das refinarias de petróleo.

De acordo com essa classificação o gás de esgotos enquadra-se pouco acima dos gases de poder calorífico médio e, com a remoção do CO<sub>2</sub>, ele se aproximaria dos gases de alto poder calorífico.

Na última categoria incluem-se a butana e a propana, geralmente fornecidas para utilização em recipientes metálicos sob pressão elevada.

## 6 — PURIFICAÇÃO DO GÁS

6.1 — REMOÇÃO DO H<sub>2</sub>S

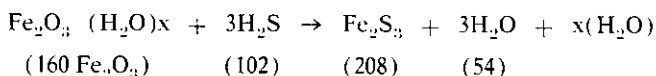
A presença de H<sub>2</sub>S no gás de esgotos, em teores acima de 0,075%, em volume, pode acarretar sérios prejuízos decorrentes da corrosão, em medidores, aparelhos de segurança, caldeiras e motores a gás.

Nos motores a gás, além de causar a corrosão das partes vitais, o H<sub>2</sub>S tem efeitos nocivos sobre a qualidade dos óleos lubrificantes.

A remoção desse gás recomenda-se para teores acima de 0,015%, como medida de proteção para os equipamentos mencionados, sobretudo nas estações de tratamento equipadas com motores.

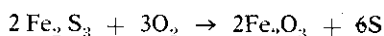
As instalações para esta finalidade são relativamente simples e consistem em tanques ou caixas contendo tabuleiros com aparas de madeira, impregnadas de óxido férrico e água.

Fazendo-se o gás atravessar esse material, o H<sub>2</sub>S se combina com o óxido, formando o Fe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>:



Depois de algum tempo de uso a instalação perde a sua eficiência, tornando-se necessária a regeneração.

O material é então umedecido e exposto ao ar para a oxidação do Fe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. Para esta operação o purificador deve ser posto fora de serviço, estabelecendo-se a seguinte reação:



O calor despreendido por esta reação pode provocar a queima da madeira utilizada como suporte. A manutenção da temperatura abaixo de limites perigosos pode ser conseguida molhando-se todo o material com a quantidade de água necessária.

O término do processo regenerativo é indicado pela mudança de cor do negro característico para o marron.

Para continuidade do serviço as instalações são equipadas com duas ou mais unidades, que normalmente podem funcionar em série ou em paralelo.

Geralmente cada purificador funciona de 1 a 5 meses, antes de se tornar necessária a regeneração, suportando 3 ou 4 regenerações.

A temperatura no purificador deve ser mantida abaixo de 20° C.

O projeto das instalações é feito nas bases seguintes: As aparas de madeira impregnadas com uma suspensão de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, geralmente contém 315 Kg. de óxido férrico, por metro cúbico.

Teoricamente, 1 m<sup>3</sup> desse material, contendo os 315 Kg. de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, reage com 200 Kg. de H<sub>2</sub>S.

Para projeto não se considera o aproveitamento completo, admitindo-se nos cálculos a reação com apenas a metade, ou seja, 100 Kg. de H<sub>2</sub>S.

Se, por exemplo, uma estação de tratamento de esgotos produzir 5.000 m<sup>3</sup> de gás por dia, com um teor médio de 0,15% de H<sub>2</sub>S em volume (cerca de 2,3 g/m<sup>3</sup> de gás), a quantidade mensal de gás sulfídrico a remover será de 345 Kg. Para essa quantidade o volume de material para purificação, admitindo-se uma regeneração em cada dois meses, será igual a 6,9 m<sup>3</sup>.

Os tanques necessários seriam construídos com um volume maior, tendo-se em consideração os espaços perdidos entre os tabuleiros.

Cada caixa é construída com 2 ou 3 tabuleiros de treliça de madeira, onde são colocadas as aparas preparadas, em camadas de cerca de 30 cm, por tabuleiro.

Sob o tabuleiro inferior deixa-se um pequeno espaço, ficando também separados entre si os tabuleiros com as suas cargas.

Acima da camada mais alta e logo abaixo da tampa do tanque, instalam-se as canalizações para espargir a água necessária à manutenção das condições de umidade do material.

Admitindo-se a construção de três unidades, cada uma com três tabuleiros, as suas dimensões poderiam ser:  $1,40 \times 1,80 \times 1,50$  m (altura útil de 0,90 m).

As caixas poderão ser executadas com chapas de aço de  $1/4''$ , soldadas e protegidas com pintura anticorrosiva.

Cada unidade deve ser provida de tampa removível, estanque ao gás, e de "by pass".

## 6.2 — REMOÇÃO DO $\text{CO}_2$

O dióxido de carbono apresenta dois inconvenientes: Em primeiro lugar é um gás sem valor calorífico, ocupando espaço sem benefício. Por outro lado, a sua densidade é elevada.

A redução do teor de  $\text{CO}_2$ , geralmente, é feita nos casos em que a utilização do gás exige pressões elevadas, como por exemplo, no emprêgo de gás engarrafado para acionar veículos e sempre que houver conveniência em se reduzir a densidade do gás para determinados aproveitamentos.

A remoção de  $\text{CO}_2$  é feita sem grande dificuldade, devido à sua grande solubilidade na água.

A operação é feita em tôrres de lavagem, atravessadas pelo gás, a contra corrente, sob pressão de 15 a 20 atmosferas. O  $\text{CO}_2$  dissolve-se na água, sendo afastado juntamente com pequenas quantidades de  $\text{H}_2\text{S}$ .

A quantidade de água necessária pode ser estimada entre 6 e 10% do volume de gás a purificar. Quando houver necessidade ou conveniência a água poderá ser substituída pelo próprio efluente final das estações de tratamento de esgotos.

O gás depois de lavado ainda contém cerca de 5% de dióxido de carbono, teor que se considera tolerável.

## 7 — VARIAÇÕES DE PRODUÇÃO. RESERVAÇÃO

## 7.1 — 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.

A fig. 3.2, mostra a influência do período de digestão e dos efeitos da inoculação (sistema de alimentação).

Na fig. 7.1 estão indicadas as observações feitas na instalação de tanques Imhoff de 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 (28).

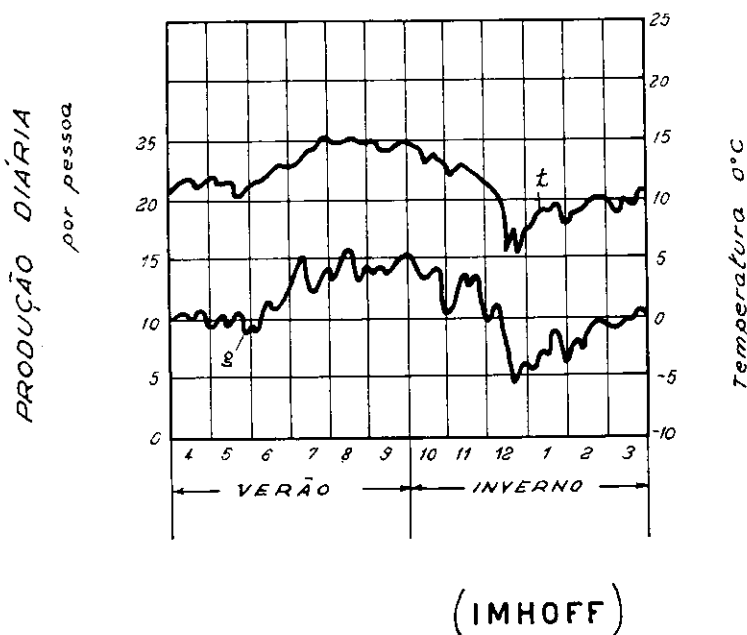


FIG. 7.1. — Variação da produção de gás em relação com a temperatura, em Munich.

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(\*), relativos a 1943, apresentam:

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

(\*) Tratamento primário: vazão média de 1.09 m<sup>3</sup>/s.

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.

7.2 — RESERVAÇÃO: VOLUME A ACUMULAR

Em conseqüência 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 (17).

7.3 — GASÓMETROS

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

- 1 — Gasômetros de baixa pressão
  - 1.1 — Com selo hídrico
  - 1.2 — Com junta móvel mecânica
- 2 — Gasômetros de alta pressão.

Os gasômetros de baixa pressão, semelhantes aos dos serviços de gás são do tipo de flutuação. A pressão interna que é estabelecida pelo peso 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 deles 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 m<sup>3</sup>.

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 (2).



## 8 — PERIGOS NAS INSTALAÇÕES DE GÁS. DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA

### 8.1 — 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.

O primeiro acidente de que se tem notícia verificou-se em 1903, na cidade de Skegness, Inglaterra, com a explosão de um tanque séptico.

Em 1915, na localidade de Ocean Grove, Estado de Nova Jersey, quando vários visitantes percorriam a estação de tratamento, ocorreu uma violenta explosão nos tanques sépticos, causando a morte de duas pessoas.

Em 1932, na cidade de Lima, Estado do Ohio, um engenheiro consultor, encontrou a morte por asfixia, ao procurar salvar a vida de um operador.

Muitos outros acidentes em condições as mais diversas e de conseqüências as mais variadas, encontram-se registrados nas publicações especializadas.

A importância do assunto foi reconhecida há bastante tempo e justamente no ano em curso, completa 20 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.) (13).

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.

Entre outras, podem ser mencionadas as explosões ocorridas em instalações Norte Americanas: Ocean Grove (N. J.), Weonsocket (R. I.), Collingswood (N. J.), Bristol (N. Y.), Dayton (Ohio), Herkimer (N. Y.) etc.

As experiências feitas pelo "Underwrites' Laboratories Inc.", nos Estados Unidos, mostraram que as explosões com o metano no ar ocorrem com concentrações desse gás compreendidas entre 5,6 e 13,5% em volume, e que a intensidade e velocidade de propagação é uma função da concentração, sendo máxima em torno de 9,6% e mínima para valores próximos daqueles limites indicados.

O engenheiro L. W. Morrill comenta com propriedade: "Qualquer explosão é o resultado da conjugação de 4 fatores: a existência de um gás inflamável, a presença de oxigênio, a mistura em determinadas proporções dessas duas substâncias e uma fonte ignífera".

E' suficiente a eliminação de um desses fatores para evitar as explosões.

#### 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) **Toxidez**

Sob êste aspecto, o principal composto a ser considerado é o  $H_2S$ , de vez que o CO raramente é encontrado e somente se apresenta com teores baixos.

O  $H_2S$  é um gás extremamente tóxico, de efeitos letais quasi comparáveis aos do HCN.

Em concentrações de

0,05 a 0,07% pode causar acidentes graves;

0,07 a 0,10% pode causar acidentes fatais.

Acima de 0,10% pode fazer cessar a função respiratória quase que instantaneamente.

A presença do  $H_2S$  no ambiente pode ser notada em concentrações muito pequenas: 0,001%. Em concentrações acima de 0,01%, o seu cheiro se torna menos sensível.

As inspetorias de serviço público de gás, geralmente, estabelecem, especificamente, os teores máximos toleráveis de  $H_2S$  no gás de rua, quase sempre abaixo de 0,0005%, em volume.

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%.

Segundo alguns especialistas o  $H_2S$  pode constituir um problema mais comum nas regiões mais quentes (2).

### d) **Asfixia**

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

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.

Já se pensou em adicionar ao gás de esgotos compostos de cheiro pronunciado, tais como as mercaptanas, porém esta prática não tem sido adotada.

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.

## 8.2 — DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA E APARELHOS ACCESSÓRIOS

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;
- 1.3 — 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<sub>2</sub>S.

3 — De contrôle (Medidores)

- 3.1 — Manómetros
- 3.2 — Medidores de vazão.

4 — Queimadores de gás

Os desenhos mostram as posições dessas peças em instalações completas.

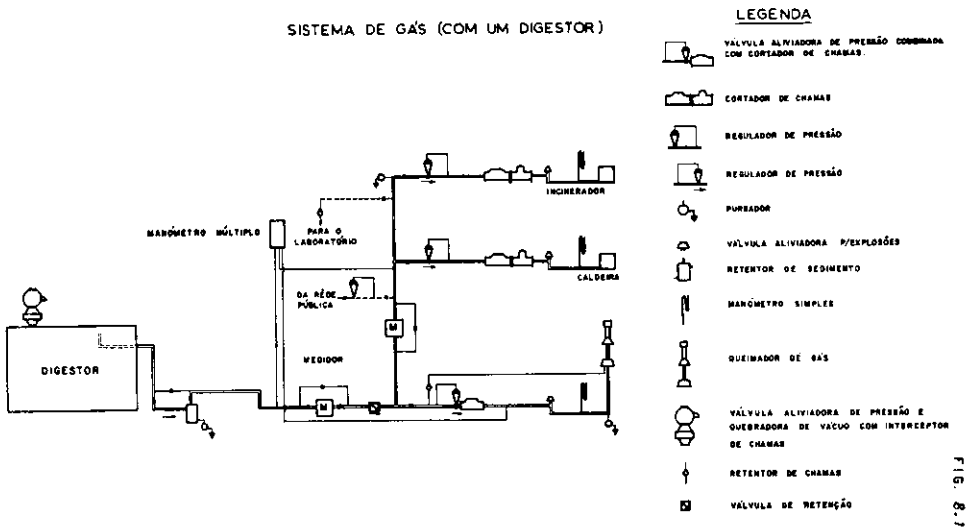


FIG. 8.1. — Disposição das peças de segurança e aparelhos acessórios nas instalações com um digestor (Varec).

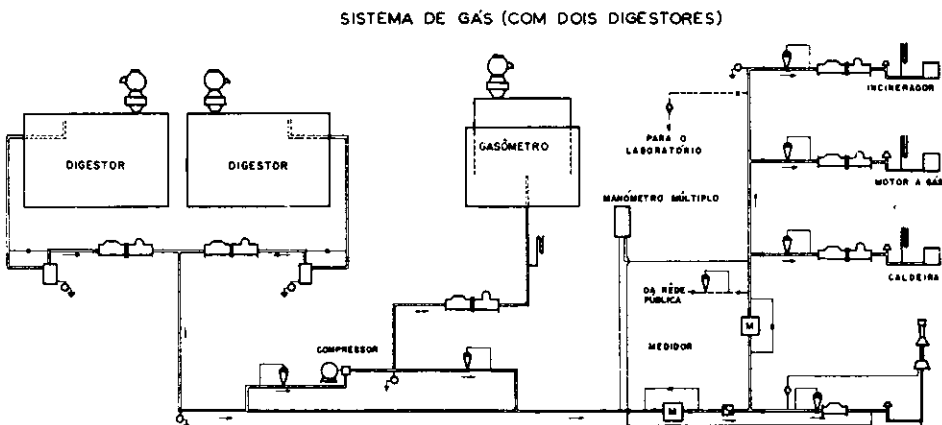


FIG. 8.2. — Disposição das peças de segurança e aparelhos acessórios nas instalações com dois digestores (Varec).

Os requisitos indicados a seguir podem ser considerados essenciais em uma boa instalação:

**Válvulas limitadoras de pressão e quebradoras de vácuo** associadas a interceptores de chamas: Devem ser instaladas nas cúpulas dos digestores e no tópo dos gasômetros.

**Cortadores de chamas:** Devem ser instalados tão próximos quanto possível, dos aparelhos de queima ou de utilização de gás; à distância limite comumente admitida é 9,0 metros. (Verificou-se que a chama no interior das canalizações se propaga com aceleração) (5).

**Purgadores:** Devem ser instalados em todos os pontos baixos das canalizações. (As canalizações devem ser assentadas com declividade para estes aparelhos).

**Reguladores de pressão:** São instalados nas derivações que alimentam os pontos de consumo elevado (Motores, caldeiras e incineradores).

**Purificadores de H<sub>2</sub>S:** Devem ser considerados sempre que o teor de H<sub>2</sub>S exceder com frequência o limite de 0,075% em volume.

### Manômetros

Indicam a pressão geralmente em altura de coluna d'água e são necessários para a boa operação do sistema. Os pontos essenciais de instalação são:

- a) Na canalização principal que provém dos digestores;
- b) Após medidores, corta chamas e reguladores de pressão, para indicar perdas de carga;
- c) Logo à montante de pontos importantes de utilização (motores, caldeiras, incineradores — etc.).

### Medidores de gás

Têm sido adotados os medidores comuns do tipo de diafragma e os medidores rotativos do tipo de deslocamento. Os primeiros são mais usados para medir pequenas quantidades e nem sempre funcionam bem com o gás de esgotos (2).

Os medidores devem sempre ser precedidos de purgadores de líquido condensado e devem ser instalados com uma canalização paralela, de emergência ("by pass").

As instalações que fazem o aproveitamento de gás devem ser equipadas pelo menos com 2 medidores, instalados de maneira a permitir a determinação dos volumes produzidos, consumidos e descartados (queimados).

### Detectores

Os detectores de metano, capazes de acusar a presença de pequenas quantidades desse gás no ar, constituem um recurso adicional de segurança.

Um tipo de detector existente na grande estação de tratamento de esgotos de Colne Valley (Inglaterra), baseia-se na reação de um filamento metálico aquecido em presença do metano. A variação de temperatura que decorre dessa reação altera a condutividade do filamento em função da quantidade de metano presente. Em um circuito com uma ponte de Wheatstone é instalado um galvanômetro especialmente calibrado para indicar diretamente a porcentagem de gás presente no ar ambiente.

Esse aparelho inclui ainda dispositivos de alarme luminosos e sonoros.

### 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.

Êsses dispositivos funcionam automaticamente existindo uma chama piloto, permanente, alimentada por canalização própria, para dar inicio 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.

A fig. 8.3 mostra a instalação de um queimador de gás de fabricação da Pacific Flush Tank Co.

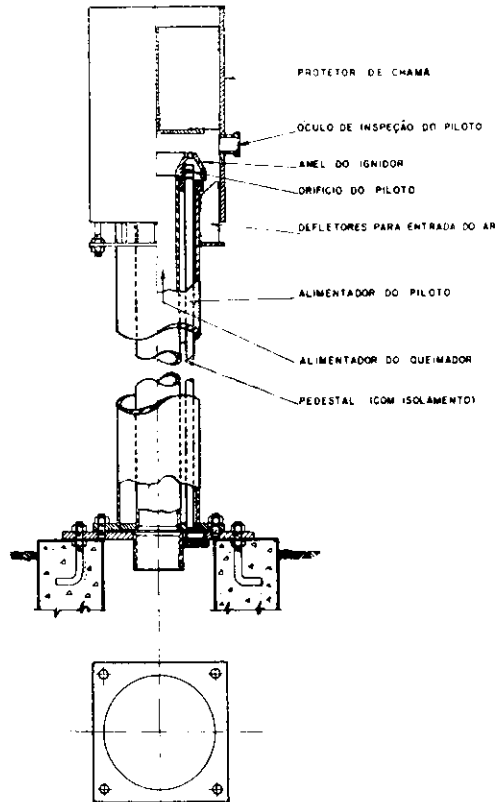


FIG. 8.3. — Queimador de gás "PFT."

### Seleção de equipamento

Sendo a pressão nos sistemas de coleta de gás dos digestores limitada a valores que raramente ultrapassam 0,125 a 0,150 m.c.a. e considerando-se a necessidade de ser mantida uma pressão "residual" de 0,050 a 0,075 m.c.a. para alimentação de caldeiras ou motores, conclui-se que os aparelhos de controle e de segurança devem oferecer uma resistência mínima à passagem do gás.

As perdas de carga geralmente toleradas nos medidores, cortadores de chamas, válvulas limitadoras de pressão e queimadores de excesso de gás, geralmente são da ordem de 1,25 cm. de coluna de água, por peça.

Com este critério, podem ser selecionados os tamanhos dos aparelhos:

QUADRO 8.2 — TABELA DE SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS(\*)

	50 mm (2")	75 mm (3")	100 mm (4")	150 mm (6")
Cortadores de chamas .....	12 l/s	16 l/s	40 l/s	80 l/s
Válvulas limitadoras de pressão .....	25	55	100	220
Queimadores de gás .....	16	35	70	160

O sistema de canalizações deverá ser projetado para que a perda de carga por escoamento seja compatível com as pressões disponíveis.

Se houver necessidade poderão ser instalados, no sistema, pequenos compressores para elevar a pressão ("boosters"). Estes aparelhos deverão ser obrigatoriamente precedidos de reguladores de pressão para assegurar carga positiva permanente nas canalizações de aspiração.

(Continuará no próximo número)

(\*) Perda de carga máxima de 1,25 cm. c. a. (Dados da PFT).