

Controle de odores em sistemas de esgotos(*)

Tânia Mara Tavares Gasi (1)
Mariza Guimarães Prota (2)
Pedro Caetano Sanches Mancuso (3)
Carlos Lopes dos Santos (4)
Antonio Carlos Rossin (5)

INTRODUÇÃO

O presente trabalho se refere à problemática de odor associada aos sistemas de esgotos urbanos.

A questão, apesar de não ser tratada, via de regra, com o desvelo necessário, é extremamente complexa e envolve aspectos altamente subjetivos. Dentro dessa subjetividade pode-se citar o componente psicológico que invariavelmente acompanha as reclamações contra maus odores, bem como a inexistência de equipamentos que permitam uma análise satisfatória dos odores, tanto do ponto quantitativo como do qualitativo.

Dessa forma, pretendeu-se, neste trabalho, fornecer informações básicas ao engenheiro em saúde pública, a fim de capacitá-lo a entender o problema dentro de sua real dimensão. Para atingir este objetivo era necessário adotar uma abordagem ampla. Assim, inicialmente, procurou-se definir odor, mostrar como se transmite e afeta os seres humanos, identificar as principais fontes em despejos urbanos, e apresentar os métodos analíticos disponíveis. Em seguida, foram abordados aspectos preventivos do problema de odor, com ênfase no projeto de sistemas de esgotos. Finalmente, foram reunidas informações sobre a solução do problema em sistemas de despejos já instalados e em operação, sendo apresentada uma série de técnicas com dados de campo coletados em bibliografia.

1. CARACTERÍSTICAS DO ODOR

1.1 Generalidades

A existência de odores associada à operação de unidades de tratamento de esgotos e de sistemas de coleta e disposição de dejetos, tem sido a responsável pela rejeição que a comunidade faz às facilidades propostas.

Seria ideal localizar as ETEs longe de áreas residenciais mas o que mais comumente ocorre é que o terreno adjacente acaba sendo utilizado para implantação de residências ou indústrias, sobrevivendo as reclamações contra os odores da ETE. Por isso, as unidades devem ser projetadas e operadas de forma a minimizar os problemas de odor.

É importante para o engenheiro reconhecer que a quantidade de odor que provoca incômodo difere para cada pessoa, e difere ao longo do tempo. Os efeitos do odor são mais psicológicos do que físicos. Assim, para o homem da cidade o cheiro de esgoto é revoltante, enquanto que para o fazendeiro significa a presença de uma boa estrebaria.

Alguns poucos odores podem ser detectados através da pele, mas os seres humanos os detectam através dos órgãos olfativos que existem no nariz. Este complexo sistema jamais pôde ser reproduzido, de forma que nenhum equipamento existe para detecção e medida satisfatórias dos odores percebidos pelo homem.

Os problemas de odores devem ser considerados sempre que se projetar um sistema de coleta, tratamento e disposição de esgotos, pois podem acarretar uma desvalorização dos terrenos adjacentes e prejuízos ao patrimônio privado.

1.2 O que é um odor?

Odor é definido como uma sensação que resulta da estimulação dos órgãos olfativos, enquanto que "um odor" é a experiência de perceber um cheiro. A propriedade da substância que afeta ou estimula o sentido do olfato é chamada de "odorante" ou "osmogênica".

As estruturas química e física, e características das moléculas da maioria das substâncias odoríferas, produzem um estímulo ao sistema do olfato que é responsável pelo "cheiro". Os "estímulos" de odorantes têm uma ou mais das seguintes formas de energia: polar, iônica, catalítica, vibracional, ou atração intermolecular de Van der Waals. Essas formas de energia podem ser definidas como:

1. polar — energia eletromagnética: as energias polares permitem alguma emissão e recepção de odores à distância contra o vento.

2. iônica — os íons em solução nas membranas da mucosa provocam uma resposta química devido ao seu desequilíbrio eletrônico.

3. forças de Van der Waals — é a energia exercida entre moléculas, que determina sua gravidade específica e, se a substância está na forma de gás, sólido ou líquido.

4. catalítico — o ar e alguns compostos e elementos podem catalisar reações com osmogênicos causando sensações no sistema de identificação do olfato.

5. vibracional — as forças de Van der Waals, mais forças iônicas e forças polares, quando presentes, criam vibrações harmônicas que têm frequências distintas para cada substância.

O sentido do olfato possui diferentes tipos de células, que reagem a estes diversos estímulos. A figura 1 mostra esquematicamente a cavidade nasal e detalhes das fibras nervosas das células do olfato.

A comunicação entre indivíduos através do olfato existe há tanto tempo quanto as outras formas de comunicação. Insetos como abelhas e formigas a utilizam extensivamente. O ser humano, ao longo do tempo, perdeu a necessidade dessa comunicação por olfato, não possuindo, também, um sentido olfativo muito acurado.

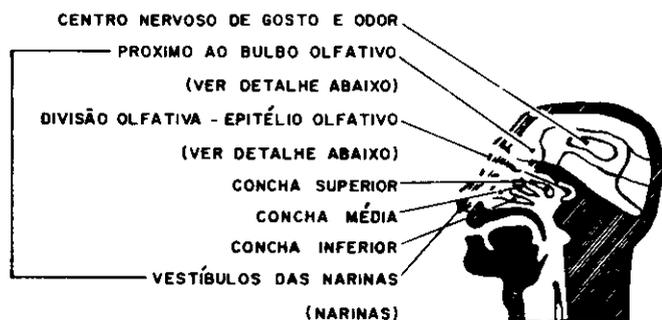
1.3 Efeito do odor sobre o homem

Muitas pessoas são incapazes de detectar alguns odores, mas são muito sensitivas a outros. O homem pode distinguir mais de cinco mil odores.

(*) Trabalho apresentado à disciplina "Sistemas de Esgotos Sanitários Aplicados à Saúde Pública".

- (1) Engenheira Química da Spar-Superintendência de Pesquisa de Água e Resíduos da Diretoria de Pesquisas da Cetesb.
- (2) Engenheira Civil do Departamento de Saneamento da Figueiredo Ferraz. Consultoria e Engenharia de Projetos Ltda.
- (3) Engenheiro Industrial Modalidade Química — Chefe da Divisão de Controle de Qualidade da Sabesp - DCJ-2.
- (4) Engenheiro Industrial Modalidade Química — Chefe da Divisão de Controle Sanitário da Baixada Santista da Sabesp-SP - BTE-4.
- (5) Professor responsável pela disciplina referida.

SISTEMA OLFATIVO



EPITÉLIO OLFATIVO

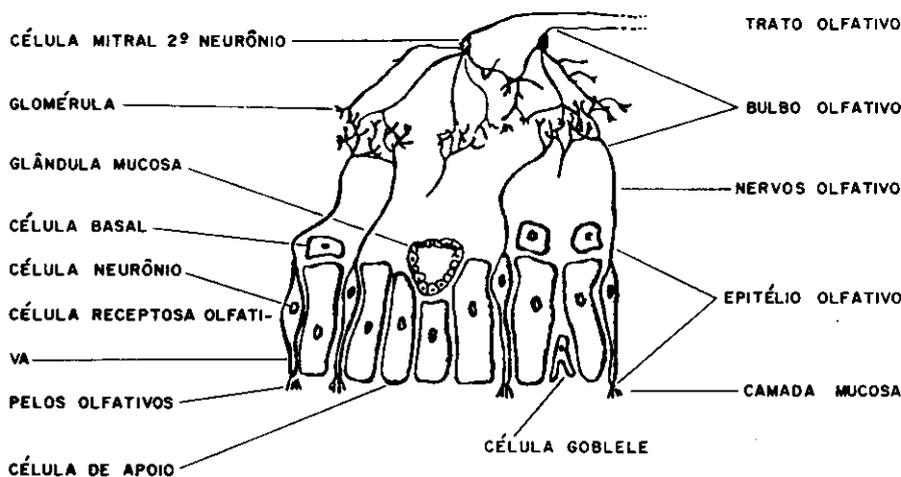


Figura 1 — Cavidade nasal e detalhe das fibras nervosas das células olfativas.
Referência n.º 8

Os odores podem criar ou alterar estados de humor. Os efeitos do odor, como foi dito, são mais psicológicos. Está provado, no entanto, que odores podem causar aumento no batimento cardíaco, respiração, pressão sanguínea, e, inclusive, dor. Ainda, uma contínua exposição pode eventualmente atrofiar o aparelho olfativo.

Os seres humanos não necessitam mais de seu olfato para serem alertados quanto a perigos, ou para localizarem alimento, seu cônjuge, ou seus filhos. No entanto, os odores são uma importante parte da vida.

A concentração dos homens em grandes centros urbanos ocasionou uma acumulação de odores, que não se dispersam mais como antigamente.

Deve-se saber, também, que cerca de 20 ou mais doenças podem ser diagnosticadas pelo odor que emitem. Tais doenças, ou resultados de injúrias físicas, são entre outras: abscessos, queimaduras, câncer, disenteria, gangrena, sarampo, peste, febre tifóide e tifo.

As pessoas associam alguns odores com excrementos humanos, comida estragada, doenças e outras coisas

desagradáveis. Quando tais odores estão presentes, as pessoas se sentem desconfortáveis, infelizes ou temerosas. Por outro lado, odores agradáveis trazem satisfação e alegria.

1.4 Alguns fatos de interesse

Alguns fatos de interesse são listados abaixo, para dar melhor visualização da problemática do odor.

— o sulfeto de hidrogênio. H_2S , em pequenas concentrações é facilmente detectável. No entanto, em teores maiores que 250 ppm por volume de ar, em que é fatal ao ser humano, torna-se inodoro por "anestésiar" o sentido olfativo.

— algumas substâncias possuem vários odores possíveis, o que normalmente depende da concentração.

— todos os animais e insetos respondem a odorantes seletivos o que pode ser sublimar ou imperceptível para outros da mesma ordem.

— substâncias similares, às vezes, podem possuir odores muito diferentes, incluindo isômeros e estereoisômeros.

— substâncias com elevado peso molecular não são usualmente perceptíveis por odor, e não são voláteis nem solúveis.

— a excitação do sentido do olfato pode ser iniciada por uma forma de energia (isto é, química, luz e calor).

— o nervo sensor olfativo atrofia desde o nascimento, de forma que aos 20 anos o remanescente é 82%, aos 60 anos permanecem 38%, e aos 80 anos têm-se apenas 28% da capacidade que o nervo sensor possuía na época do nascimento,

— o sentido do olfato é rapidamente fatigado por alguns odorantes, mas não por todos.

— dois ou mais odores podem se cancelar entre si; ao serem misturados podem ser imperceptíveis (pares Zwaadermarker).

— odores podem causar reações espontâneas automáticas em algumas, ou talvez todas as coisas vivas.

— alguns odores, especialmente os que dependem do pH, surgem como uma sensação dolorosa e não como cheiros realmente (odores "cacomic").

— os odores podem ser, e normalmente são, impressos psicologicamente em indivíduos.

— muitas doenças, incluindo as de veiculação hídrica, estão associadas a odores, através dos quais podem ser reconhecidas.

— a maioria das pessoas consegue distinguir melhor os odores com a narina esquerda, do que com a direita.

— a polimerização interrompe ou cancela odores.

— muitos produtos da despolimerização são extremamente mal-cheirosos (ex.: trimetilamina e escatol).

— muitos odores podem ser interrompidos, piorados, cancelados, ou neutralizados por oxidação ou redução.

— odores podem ser alterados por interrupção harmônica, microondas, ou ultra-som.

— odores podem ser alterados por exposição a radiações (como ultravioleta, infravermelho ou raios-gama).

— a umidade aumenta a persistência e a percepção do odor.

— os odores estão sujeitos a reações catalíticas.

1.5 Características gerais de moléculas odoríferas

Algunas das características gerais de moléculas odoríferas, que devem ser lembradas na estratégia de prevenção e controle de odor, estão listadas abaixo.

— compostos com constituição diferente podem ter odores semelhantes (ex.: cânfora, álcool siliconílico e durenol).

— compostos com constituição muito similar podem ter odores diferentes. Entretanto, se a diferença constitucional for pequena, nos odores serão também pequenas.

— nenhum elemento que ocorra livre na natureza é odorífero em condições normais.

— sete dos elementos combinados na natureza possuem odor. Eles são: flúor, cloro, bromo, iodo, fósforo, arsênio e oxigênio (como ozônio). Os elementos têm apenas dois tipos de odor: "halogênio" e "alho", que são possivelmente odores fundamentais ou puros.

— a habilidade de funcionar em elevados estados de valência conduz a odor (os halogênios têm valência 7, oxigênio pode ser +6 e fósforo e arsênio apresentam valência 5).

— a eletronegatividade, ou caráter não metálico, está aliada de perto com propriedades odorantes. Os elementos no início da série de eletronegatividade (mais eletronegativos) produzem odor.

— os compostos de enxofre, selênio e telúrio têm odor ofensivo, enquanto que seus análogos do oxigênio são inodoros.

— os elementos eletropositivos (aqueles do grupo 1 e 2 do fim da escala de eletronegatividade) eliminam a formação de odor.

— compostos de fósforo, bismuto e arsênio normalmente têm odor de alho.

— a introdução de um grupo hidroxila, por exemplo, um álcool alifático, frequentemente suprime ou abole o odor.

— os ácidos aromáticos são usualmente inodoros, enquanto que os alifáticos são odoríferos (dependendo da volatilidade).

— ésteres possuem odores de frutas e perfumes.

— fortes odores para aldeídos são normalmente causados por volatilidade e reatividade química. Esta e a insaturação correm paralelamente com odor.

— o odor de aminas é mais amoniacal quando concentradas que quando diluídas; o odor de peixe é mais forte em soluções diluídas que concentradas.

— os compostos de nitrogênio normalmente têm um cheiro "animal". Os compostos que não contêm nitrogênio ordinariamente não têm um cheiro animal.

— compostos em que um elemento funciona a uma valência menor que a máxima, usualmente têm cheiro ofensivo (ex.: H_2S e isonitrilo).

— muitos compostos reduzidos de enxofre, particularmente quando o enxofre é divalente, têm odores ofensivos (ex.: mercaptanas).

1.6 Transmissão do odor

A transmissão do odor requer um emissor, um transmissor e um receptor. O sentido do olfato é o receptor humano. Apesar de ser menos sensível que animais e insetos, o homem é capaz de, sob tensão, detectar odores minúsculos ou subliminares. O sentido do odor é mais sensível que o paladar para identificar substâncias. Na verdade, o homem é mais habilitado para detectar odores incomuns, ou odores associados com o desconhecido, ou, em outras palavras, o que diz respeito ao que lhe desagrada ou atemoriza. Até o momento, não foi desenvolvida comercialmente instrumentação capaz de detectar odores com precisão, razão pela qual o nariz ainda é o principal detector.

As correntes de ar atuam como veículo de gases e vapores odoríferos.

Todas as substâncias com pressão de vapor têm potencial de emitir odores — agem como emissores.

A percepção de um osmogênico dependerá:

- da concentração do osmogênico;
- da distância da emissão;
- da intensidade das correntes de ar;
- das condições do indivíduo receptor.

Um osmogênico pode ser retardado por absorção, que, por sua vez, pode ser classificada em:

— absorção física: absorção em outra substância por ação das forças de Van der Waals.

— absorção química: devida a uma troca, ou divisão eletrônica.

— absorção por condensação: um vapor osmogênico em contato com uma superfície fria pode se condensar.

— absorção devida à cor: é possível que a aderência de um osmogênico a uma superfície esteja relacionada à cor da superfície. A cor negra tem maior poder de absorção, e este diminui do azul para o verde e para o amarelo. Em geral, a porosidade da superfície, o acabamento superficial, a cor, a composição, a temperatura, e a umidade irão determinar o grau de absorção.

Os vetores do odor podem ser objetos estacionários com o osmogênico absorvido, ou partículas aéreas. Odores absorvidos podem permanecer como fontes de odor, inclusive por vários anos. Como exemplo, roupas costumeiramente retêm cheiros apesar de lavadas com detergentes. Da mesma forma, edifícios que abrigaram um processo industrial mal-cheiroso continuarão a emitir odor de paredes aparentemente limpas. Pontos de ventilação em um sistema fechado, se não receberem ar fresco e tiverem uma filtração adequada, também serão emissores de odor.

2. PRINCIPAIS FONTES DE ODOR DE DESPEJOS URBANOS

2.1 Generalidades

As substâncias produtoras de odor que podem ser encontradas no esgoto doméstico e no lodo, bem como algumas originadas de pequenas indústrias associadas com o meio urbano, estão listadas na tabela 1, com algumas de suas principais características. Os osmogênicos detectados pelo homem são usualmente resultado de atividade biológica, podendo ser classificados como vapores orgânicos e gases inorgânicos. A maioria dessas substâncias que provêm da decomposição anaeróbia possui enxofre ou nitrogênio. O gás produzido a partir do esgoto doméstico normalmente contém ácido sulfídrico, amônia, dióxido de carbono e metano. Frequentemente esse gás contém substâncias altamente odoríferas como indol, escatol, mercaptanas, aminas e outros.

Um gás odorífero pode ser diluído suficientemente pelo ar numa extensão tal que só possa ser detectado por pouco tempo. Enquanto esta característica pode ser benéfica na tentativa de controlar odores nas proximidades das instalações de esgotos, será perigosa se os gases odoríferos estiverem num espaço confinado, numa concentração tóxica que tenha sido diluída abaixo de um nível detectável. Além da diluição, o tempo e a gravidade específica do gás também podem ser considerados. Baixas concentrações de alguns gases podem ser tóxicas no contato por pequenos períodos de tempo e a gravidade específica de um gás ditará onde a concentração máxima, em espaços confinados, pode ser encontrada. Por exemplo, o sulfeto de hidrogênio pode ser encontrado próximo do chão num espaço confinado, enquanto que a amônia será localizada próxima do teto.

Substâncias mal-cheirosas podem ser geradas em qualquer lugar no sistema de coleta ou tratamento onde despejos anaeróbios ou sólidos podem se depositar como escuma ou lodo. A tabela 2 mostra os locais onde as substâncias mal-cheirosas podem ser geradas, podendo-se comentar o seguinte:

Os depósitos de escuma ou lodo não permitem uma difusão de oxigênio suficiente para mantê-los aeróbios e livres de odor. Também os polímeros quebrados durante o condicionamento do lodo dão origem a moléculas pequenas e odoríferas. Durante a incineração são requeridas altas temperaturas para uma combustão livre de odores. As substâncias odoríferas tendem a se absorver em superfícies escuras, porosas, com acabamento grosseiro, e essas superfícies emitem odor por

Tabela 1 — Substâncias odoríferas

Fórmula	Características do odor	Límitar do odor (ppm)	Início da percepção (ppm)	Início da reconheciment(ppm)	Adsorção por carvão ativo (%)	Ponto de ebulição (°C)	Peso molecular
Ácido acético	CH ₃ ·CHO	Cheiro irritante	0,004	—	0,21	20,2	44,05
All mercaptano	CH ₃ ·CH·CH ₂ ·SH	Alho forte, catú	0,00005	0,006	—	67	74,15
Amônia	NH ₃	Azêdo penetrante	0,037	—	46,6	1-2	17,08
Amil mercaptano	CH ₃ ·(CH ₂) ₄ ·CH ₂ ·SH	Desagradável, putrido	0,0003	—	—	126	104,22
Bencil mercaptano	C ₆ H ₅ ·CH ₂ ·SH	Desagradável, forte	0,00019	—	—	194	124,21
Butilamina	C ₂ H ₅ ·CH ₂ ·CH ₂ ·NH ₂	Azêdo, parecido c/amônia	—	—	0,24	78	73,14
Cedevirino	H ₂ N·(CH ₂) ₆ ·NH ₂	Putrido, carne deteriorada	—	—	—	178	102,18
Clore	Cl ₂	Acantuada, sufocante	0,01	0,01	0,314	-34	70,91
Clorofenol	C ₆ H ₅ ·Cl	Remédio, fenólico	0,00018	—	—	214	128,55
Z-Butano mercaptano	CH ₃ ·CH·CH·CH ₂ ·SH	Desagradável	0,000029	0,0077	—	98	90,19
Dibutilamina	(C ₄ H ₉) ₂ ·NH	Paiza	0,016	—	—	159	129,25
Diisopropilamina	(C ₃ H ₇) ₂ ·NH	Paiza	0,0035	—	0,085	84	101,19
Dimetilamina	(CH ₃) ₂ ·NH	Putrido, paiza	0,047	—	0,047	7	45,08
Dimetil sulfeto	(CH ₃) ₂ ·S	Vegetais em decomposição	0,001	—	0,001	37	62,13
Difenil sulfeto	(C ₆ H ₅) ₂ ·S	Desagradá	0,000048	—	0,0021	296	186,28
Etilamina	C ₂ H ₅ ·NH ₂	Amoniacal	0,83	—	0,83	17	45,08
Etil mercaptano	C ₂ H ₅ ·SH	Repolho deteriorado	0,00019	0,0026	0,001	23	62,1
Gás sulfúrico	H ₂ S	Ovo podre	0,00047	—	0,0047	3	34,1
Iodo	C ₂ H ₅ ·NH	Fecul, nauseante	—	—	—	25	117,15
Metilamina	CH ₃ ·NH ₂	Paiza podre	0,021	—	0,021	-7	31,05
Metil mercaptano	CH ₃ ·SH	Repolho podre	0,0011	—	0,0021	20	48,1
Oxoa	O ₃	Irritante acima de 2 ppm	0,001	0,5	—	111	48,1
Propil mercaptano	CH ₃ ·CH ₂ ·CH ₂ ·SH	Desagradável	0,000075	0,024	—	25	87
Petrola	NH ₃ ·(CH ₂) ₄ ·NH ₂	Putrido, nauseante	—	—	—	25	98,15
Piridina	C ₅ H ₅ ·N	Irritante, desagradável	0,0037	—	—	25	116
Scatol	C ₉ H ₇ ·N	Fecul, nauseante	0,0012	0,223	0,47	25	266
Dióxido de enxofre	SO ₂	Irritante pungente	0,009	—	—	10	-10
Terc-butil mercaptano	(CH ₃) ₃ ·C·SH	Desagradável	0,00008	—	—	65	90,19
Tioacetol	CH ₃ ·C ₆ H ₄ ·SH	Ronco	0,0001	0,019	—	195	124,21
Tiofenol	C ₆ H ₄ ·SH	Putrido	0,000062	0,014	0,28	170	110,16
Trietilamina	(C ₂ H ₅) ₃ ·N	Amoniacal, paiza	0,08	—	—	89	101,19

Referência n.º 8

Tabela 2 — Locais nos sistemas de esgoto onde os odores podem desenvolver-se

Local	Referência n.º 8											
	Esgoto	Pedra-gulho	Peneiras	Escuma	Lodo	Ar do esgoto	Lodo nas paredes	Materia orgânico superficial	Deposito de lodo	Paredes escuras ou porosas	Dosedoras químicas	Zonas mortas
Esgoto por gravidade	x					x	x		x			
Linha de recalque	x					x	x		x			
Estação de bombeamento												
Paço de visita	x											
Caixas de tranquilização	x											
Caixas de passagem												
Caixas de areia	x	x		x	x		x	x	x			x
Peneiras	x		x				x	x	x			
Caixas de gordura												
Tanque equalizador	x	x	x	x	x		x	x	x			
Decantador primário	x			x	x		x	x	x			x
Transferência de lodo					x							
Transferência de escuma	x						x	x	x			
Adição química							x	x				x
Tanques de aeração	x						x	x	x			x
Filtros biológicos	x						x	x	x			x
Tanques												
Biodiscos	x						x	x	x			
Decantador secundário	x				x		x	x	x			x
Meio filtrante	x						x	x	x			x
Bombeamento de lodo							x	x	x			
Adensamento de lodo							x	x	x			
Estocagem de lodo							x	x	x			
Disposição do lodo							x	x	x			
Secagem do lodo							x	x	x			
Disestão do lodo							x	x	x			
Tratamento							x	x	x			
Processos de transferência	x						x	x	x			
Manuseio	x						x	x	x			x
Irrigação da terra	x						x	x	x			
Disposição do efluente	x						x	x	x			
Sistema de ventilação												
Fossas para drenagem	x						x	x	x			
Canais para drenagem	x						x	x	x			
Distribuição de vazão												
Tanques de contato químico							x	x	x			x
Colunas de carvão												
Incineração do lodo							x	x	x			
Compostagem do lodo							x					

muito tempo. As paredes e o teto das estações de tratamento de esgotos, e inclusive a roupa dos empregados, podem absorver e carregar odores muito depois de as substâncias mal-cheirosas terem sido removidas.

Um fato de grande importância é que as pessoas se habituariam aos odores, de sorte que o engenheiro sanitário habituado ao cheiro das ETEs não é o melhor juiz para decidir se há odor ou não.

2.2 Ácido sulfídrico

O enxofre está presente na excreta humana, e sulfatos são encontrados na maioria dos corpos d'água. No es-

goto doméstico o enxofre está normalmente presente na forma de sulfatos e sulfitos inorgânicos, ou sulfetos orgânicos (como mercaptanas, tioéteres e dissulfetos) pela produção de gases ou vapores por bactérias anaeróbias ou facultativas.

A produção de sulfetos por via bacteriana é um capítulo complexo, sugerindo-se a referência Thistlethwayte para os que desejarem se aprofundar no tema. Thistlethwayte discute a geração de sulfetos em emissários, sí-fões, tubulações, poço de sucção, fluxo do esgoto. Assim, geração de sulfeto em limo sugere-se a formulação matemática:

$$\frac{d}{dt} (N_s)^{-1} [DBO_5]^a [SO_4]^b D1$$

d(N_s) / dt = taxa de suprimento de moléculas nitriantes para gerações bacterianas de sulfetos.

DI = taxa de difusão molecular
a, b = coeficientes
e a equação experimental:

$$G_s = 32,2 \times 10^6 \times V_s \times [DBO_5]^{0,8} \times [SO_4]^{0,4} \times 1,139 \times (t^{\circ}C-20)$$

G_s = taxa de geração no limo, em lb de S — sulfeto / 1.000 ft² de limo/h.

V_s = velocidade média do esgoto, em ft/s

DBO₅ = em mq O₂/l

SO₄ = em mg SO₄/l

t[°]C = temperatura em °C

Os valores de 0,05 a 0,22 lb de S — sulfeto / 1.000 ft² de limo/hora seriam típicos para geração de sulfetos.

A figura 2 mostra um diagrama que relaciona as taxas de geração de sulfetos em poços de sucção com funcionamento intermitente das bombas. Valores típicos seriam taxas de 0,7 ppm/h durante o bombeamento, e em regime quiescente após algumas horas, apenas 0,15 ppm/h, ou menos.

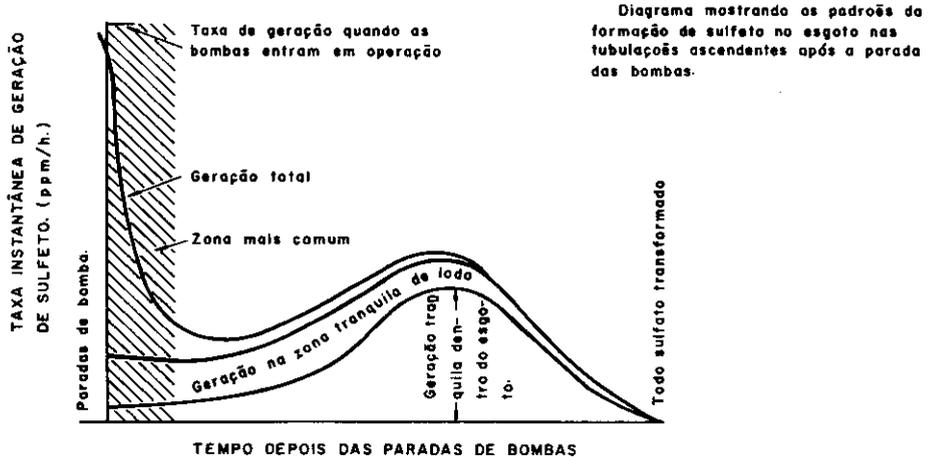


Figura 2 — Referência n.º 6

O ácido sulfídrico, H₂S, é o gás mal-cheiroso mais conhecido relacionado com esgotos. É altamente solúvel em despejo doméstico (2.800 mg/l a 30°C a 5.650 mg/l a 5°C). Além de seu odor de ovo podre, o H₂S é muito corrosivo e extremamente tóxico. Paredes de tubulações de esgoto e de tanques fechados normalmente contêm gotículas de condensação aderidas à superfície. Se essas gotículas estiverem saturadas com H₂S, pode ocorrer, através de ação bacteriana, formação de ácido sulfúrico, que é extremamente corrosivo a tintas à base de chumbo, concreto, metais e outros materiais.

A figura 3 mostra, esquematicamente, a situação acima descrita.

As bactérias envolvidas no processo de corrosão podem ser vistas no esquema abaixo.

Quanto à toxicidade, o H₂S é traiçoeiro porque a habilidade de uma pessoa perceber altas concentrações é rapidamente perdida por paralisação do sistema do olfato; em concentrações acima de 250 ppm por volume de ar o H₂S é letal ao ser humano, podendo sua toxicidade ser comparada à do ácido cianídrico.

Esta peculiaridade tem explicado a perda de muitas vidas de trabalhadores que tentam salvar o colega de serviço de um mortal e indetectável gás do ambiente. Sem o odor de ovo podre, o cheiro do sulfeto de hidrogênio não é tão desagradável e a concentrações acima de 400 ppm o sentido do olfato desaparecerá rapidamente, com resultados tóxicos associados com uma dosagem de 700 ppm por 2 minutos. Consequentemente, os procedimentos de entrada em segurança nos espaços confinados e nos equipamentos deveriam ser usados quando se trabalhar com suspeita de presença de sulfeto de hidrogênio.

Dessa forma, a máxima concentração para exposição em 8 horas é de 20 ppm.

O H₂S molecular se dissolve em água de acordo com a seguinte equação de dissociação:



+ S⁼

HS⁻ = íon hidrossulfeto.

A concentração das formas de H₂S depende do pH. Em pH de cerca de 9,0, a forma predominante, (> 99%) é o íon hidrossulfeto, que é inodoro; se o pH for maior que 8,0 haverá pouco problema com o H₂S gasoso. Mas, em torno de pH 5,0, apenas 1% estará na forma mais inodora (ver figura 4).

Como já foi visto H₂S é produzido por redução de íon SO₄ através de or-

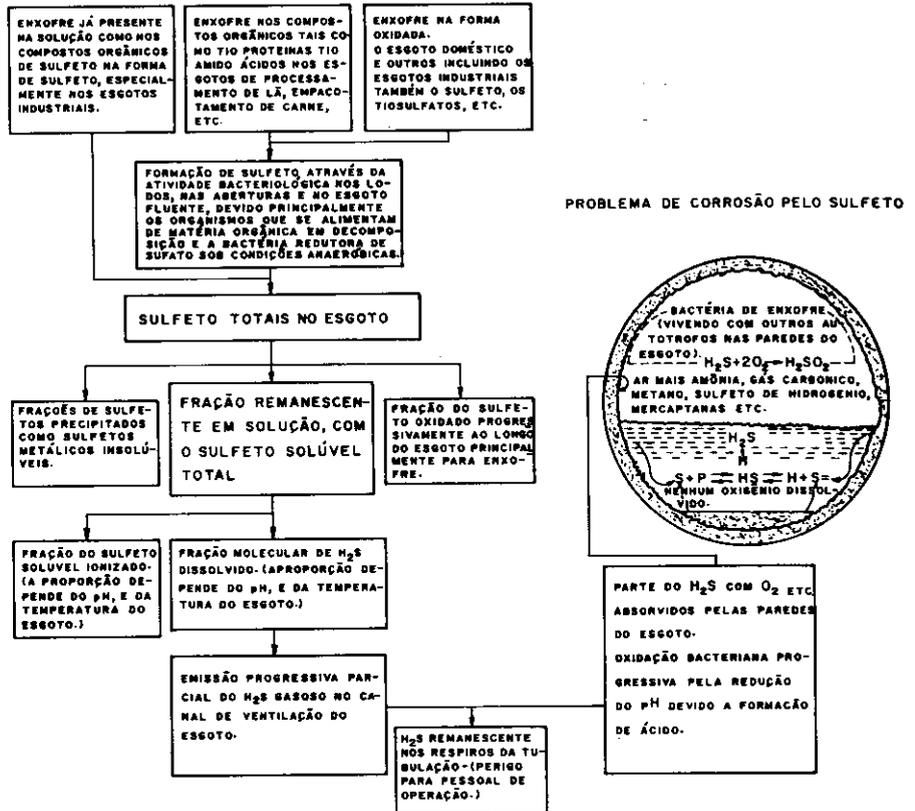
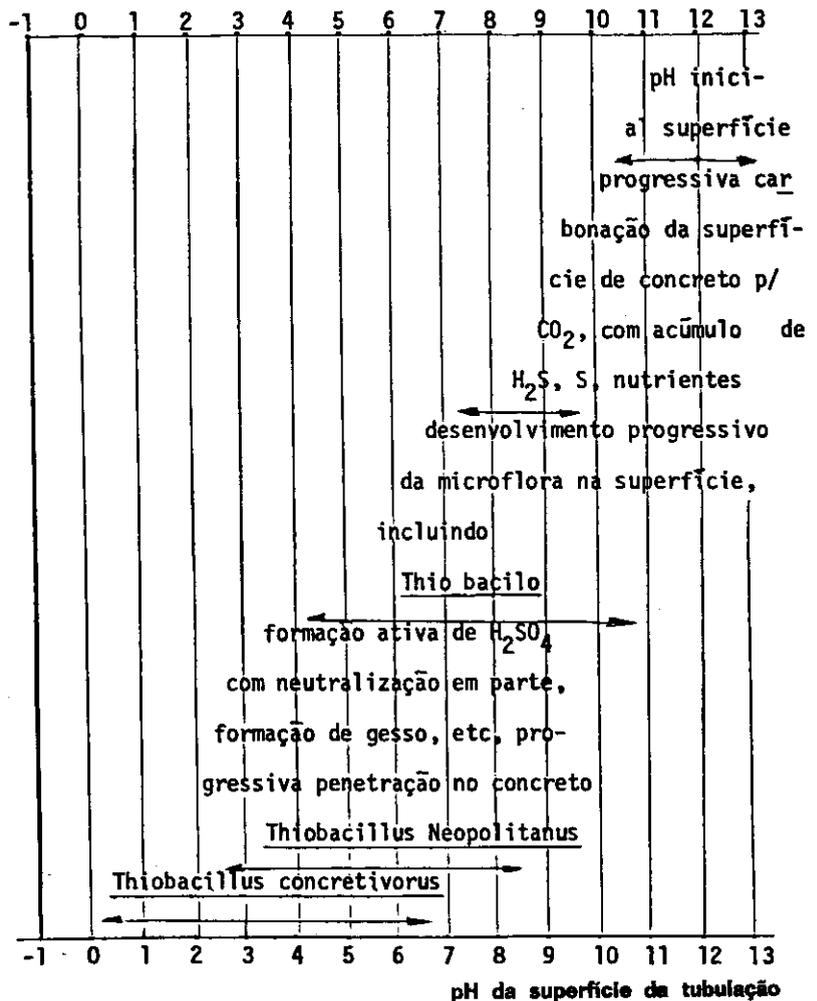


Figura 3 — Referência n.º 6



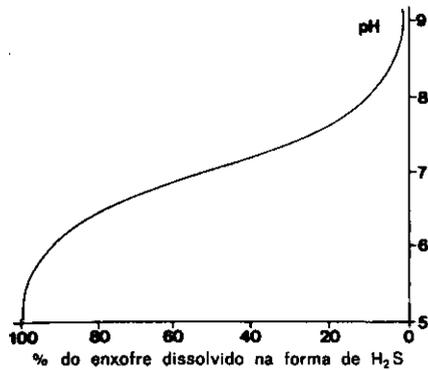


Figura 4 — Referência n.º 6

ganismos sulfato redutores. Esses organismos desenvolvem-se em baixos potenciais de oxirredução (ORP), -0,20 a -0,30 V, faixa de pH entre 6 e 9, e temperaturas próximas de 30°C. O ORP de esgoto fresco é muito elevado para que haja formação significativa de H₂S nos dois primeiros dias. Entretanto, como o lodo anaeróbico e os depósitos de lodo têm ORP menor que o esgoto, surgem condições favoráveis para o aparecimento de H₂S. Se estiverem presentes, de forma bem distribuída, íons nitrato ou oxigênio dissolvido, o ORP é elevado e a formação de H₂S é inibida.

Além do pH e do ORP, a produção de H₂S é influenciada pela temperatura e oxigênio além de variar ao longo do dia (figura 5), com a estação do ano (figura 6), com a precipitação pluviométrica (figura 7), e com a aglomeração urbana (aumento da vazão do esgoto — figura 8).

Quando à temperatura, os esgotos com excessiva infiltração ou afluência de água fria, geralmente tornam menos ativas as bactérias responsáveis pela produção de gás nos esgotos. Sob tais circunstâncias, as bactérias que usam o oxigênio disponível operam a taxas mais baixas; por outro lado, o esgoto permanece "fresco" por causa da presença de oxigênio, e a produção dos gases de esgoto é mínima. Os esgotos a temperaturas de 10°C a 16°C produzem e liberam menos gases perigosos do que os esgotos a temperaturas de 16°C a 24°C.

É necessário controlar a temperatura das descargas dos resíduos industriais. Usualmente não se permite às indústrias que descarreguem água a temperaturas acima de 49°C, por causa da produção de sulfetos no esgoto que será aumentada e do oxigênio que será consumido pelo aumento de bactérias em taxas mais altas. A produção de sulfeto de hidrogênio aumenta com as temperaturas mais altas, e o mesmo sendo liberado do esgoto, se combinará com os vapores de água para formar ácido sulfúrico que ataca tubulações de esgoto, poços de visitas, poços de sucção e outras instalações.

Varição da concentração dos sulfetos com vazão durante o período de 24 horas. Ex. 1 e 2

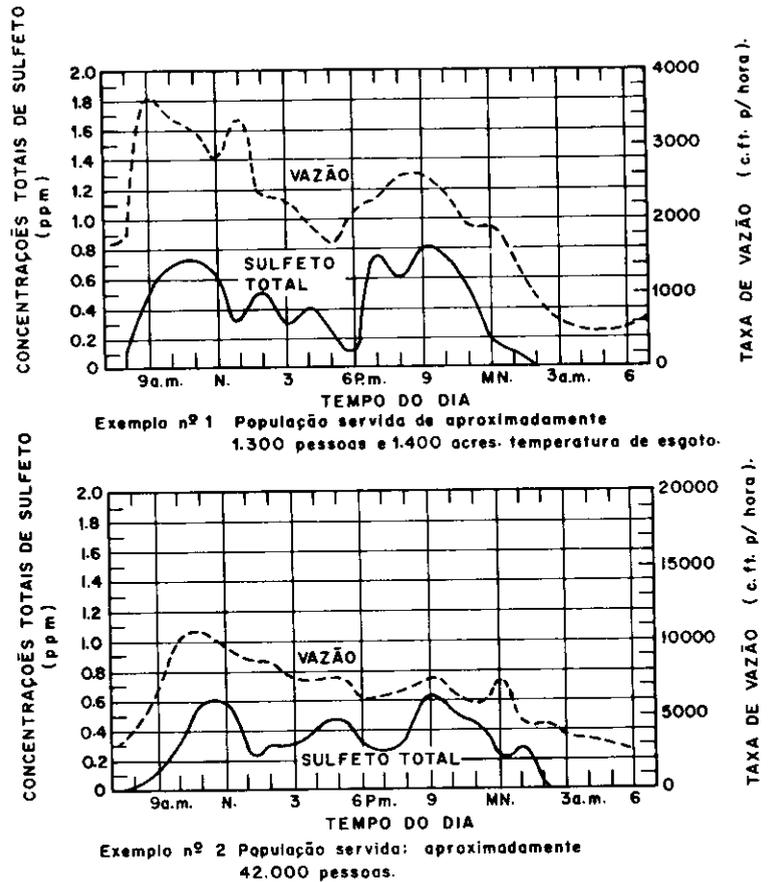


Figura 5 — Referência n.º 6

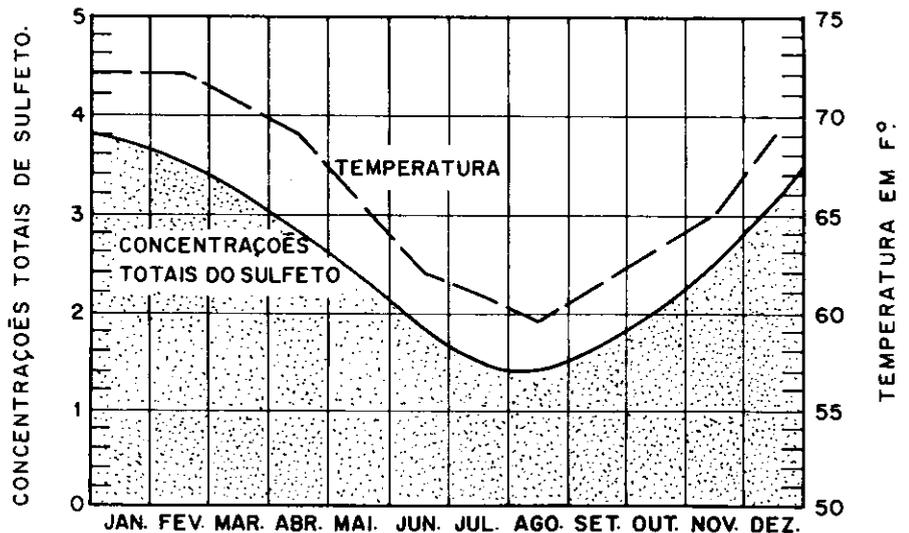


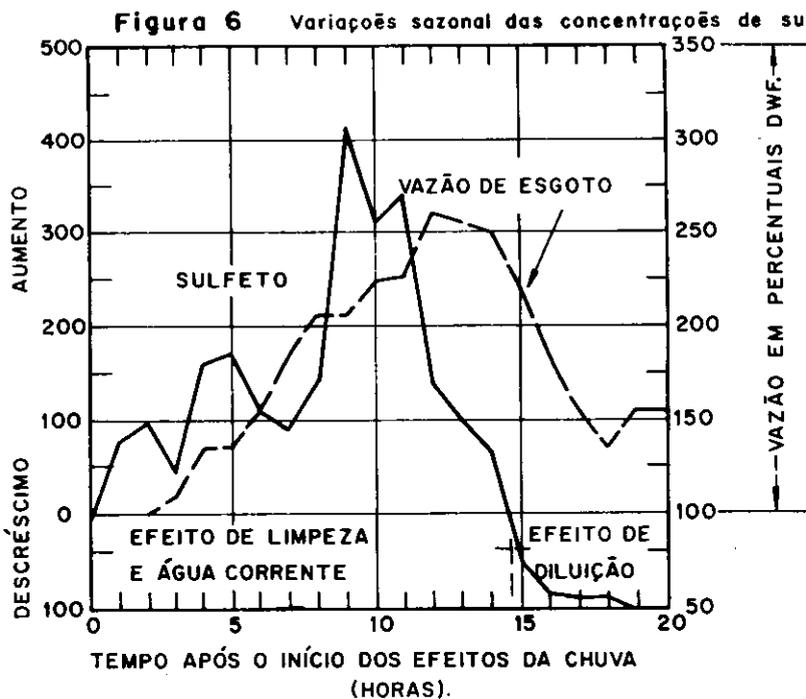
Figura 6 — Variações sazonais das concentrações de sulfeto.

O esgoto a altas temperaturas também tem como resultado a estimulação da produção de metano do lodo séptico depositado nos tubos de esgoto. A mistura de 6% de gás metano no ar é explosiva e pode entrar em ignição.

A presença de certos tipos de gases no esgoto depende do oxigênio disponível. O limo que recobre a tubulação e paredes da rede de esgoto é

habitado pelas bactérias que fazem a hidrólise. Quando o oxigênio está disponível, a degradação biológica através dos processos aeróbios toma lugar e o gás predominante liberado é o dióxido de carbono. Quando o oxigênio não está presente a degradação biológica se dá através de processos anaeróbios e os gases predominantes liberados são o sulfeto de hidrogênio e o metano.

VARIAÇÃO DOS SULFETOS PRODUZIDOS NUMA FAIXA COMPARADA COM AS CONDIÇÕES DWF.



3. MEDIDA DO ODOR

Como já foi visto, o olfato pode detectar substâncias em concentrações de até 0,1 p.p.b. Comparativamente, o paladar apenas detecta concentrações a partir de 0,5 mg/l. Na verdade, o paladar muitas vezes é um odor de algo que está na boca. Os seres humanos percebem os cheiros quando moléculas de um gás ou vapor odorante entram em contato com os cílios, ou são depositadas nas mucosas onde, ou entram em contato com os nervos sensitivos, ou sofrem uma mudança química que gera produtos que podem contactar os nervos sensitivos.

Para selecionar a estratégia de controle de odor, o ideal seria que os componentes do vapor ou gás odorífero fossem identificados. No entanto, como já foi visto, devido à grande complexidade de medida de odor, ainda não foi desenvolvida instrumentação tão eficiente quanto ao nariz. Os melhores métodos disponíveis são a cromatografia em fase gasosa e o painel de odor. Alguns poucos gases, como o H₂S e o SO₂ podem ser medidos mecanicamente para efeito de monitoramento.

O método mais comum para medida de odores complexos implica a definição da "unidade de odor", que significa a quantidade de gás em volume, necessária para contaminar 0,028 m³ (1 ft³) de ar livre de odor até o limite de percepção, ou seja, até o ponto em que seja percebido por apenas metade dos membros de um painel de odor. O número total de unidades de odor emitidas por minuto é:

$$U = \frac{u}{V} \times A \times V$$

U = número de unidades de odor emitidas por minuto

u/V = unidades de odor por ft³

V = velocidade de emissão, ft/minuto

A = área da seção transversal através da qual o odor está passando, em ft²

A potência de um odor é dada pelo número de diluições, com o ar isento de cheiro, necessário para reduzir o odor a somente o seu nível de detecção (ou unidade de odor). A detectabilidade dos odores aumenta com a temperatura e umidade. O maior problema dos analistas de odor é prevenir depósitos dos vapores ou gases odorantes nos equipamentos ou nas narinas, que venham a comprometer

Figura 7 — Os efeitos das precipitações pluviométricas sobre as concentrações de sulfeto.

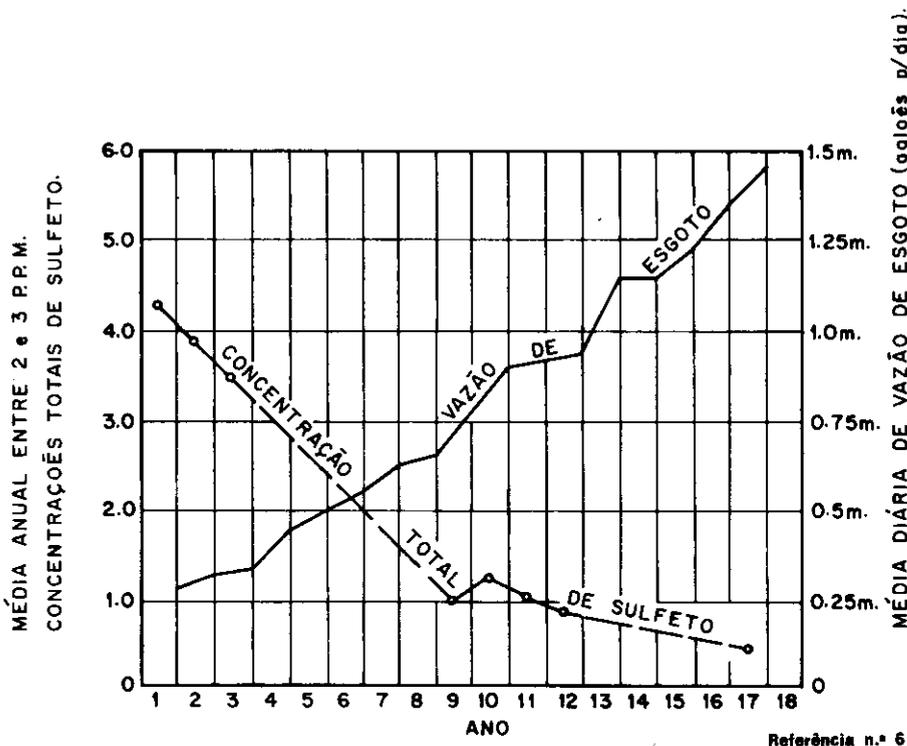


Figura 8 — Efeitos do aumento das vazões de esgoto sobre as concentrações de sulfeto.

A medida que flui o esgoto, a troca normal de gases entre o líquido e a atmosfera causa a dissolução do ar no esgoto. A reaeração do esgoto ocorre mais eficientemente em pequenas tubulações nas quais as altas velocidades do fluxo causam maior turbulência, e, portanto, são maiores as trocas gasosas. A reaeração restaura as condições aeróbias à oxidação do sul-

feto. Isto reduz a formação em potencial e liberação do sulfeto de hidrogênio. A medida que o esgoto entra nas grandes linhas e interceptores, ocasião em que o esgoto flui em baixas velocidades e a profundidade do líquido aumenta, a reaeração se torna menos provável. É nessas linhas-tronco e interceptores que a geração de sulfeto de hidrogênio e metano pode ser esperada.

as análises seguintes. Ainda, a exposição a odores fortes pode causar alguma fadiga olfativa e perda da sensibilidade para aquele odor. Os analistas de odor são mais sensíveis se expostos intermitentemente a gases ou vapores muito diluídos. Não se deve esquecer, também, que a capacidade de uma pessoa descrever um odor é diferente de outras, e depende do "catálogo" dos odores que a mesma conhece.

Existe um equipamento denominado ofatômetro, que permite diluir o odorante.

São coletadas duas correntes do ar ambiente, sendo que uma é passada através de carvão ativado, que retém o osmogênico, podendo o analista alterar a aspiração da câmara contendo o odorante, e da isenta de cheiro. A análise é feita cheirando e a câmara contendo o odorante, para diluições determinadas, e em ambiente livre de odor. A técnica de painel prevê a participação de quatro homens e quatro mulheres, (apesar de as mulheres serem mais sensíveis) que não devem usar desodorantes, perfumes e não fumar uma hora antes do teste. O pessoal que prepara as diluições não deve participar do painel. O painel deve ser respondido com "sim" ou "não" quanto à presença de odor para diversas concentrações. Os resultados são plotados em papel semilog, e para resposta positiva de 50% dos participantes do painel tem-se o limite de percepção (ou "threshold concentration"). Como exemplo, ver figura 9.

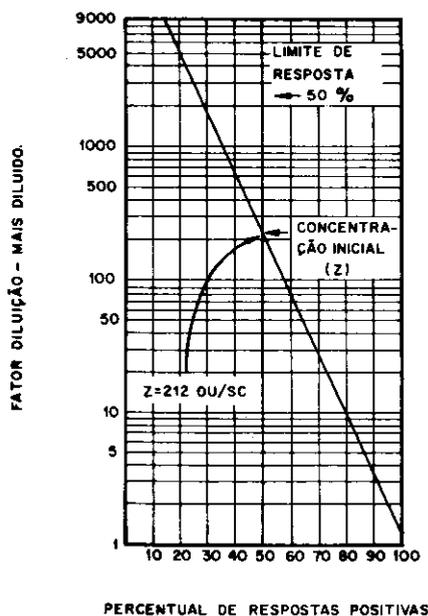


Figura 9 — Gráfico de sensibilidade de odor
Referência n.º 8

4. CONTROLE DE ODOR NO PROJETO

Durante o projeto de um sistema de coleta e tratamento de esgotos, tanto industrial como sanitário, é neces-

sário que seja tomada uma série de medidas para se evitar problemas futuros com a propagação dos odores desagradáveis provenientes das diversas unidades do sistema.

Em certos casos, o problema se inicia já na rede coletora. Isso ocorre devido a eventuais descargas diretas de esgotos industriais nos coletores contendo sulfetos ou outras substâncias causadoras de odor, ou ainda a tempos demasiadamente longos que os despejos levam para chegar ao seu destino, tornando-se excessivamente sépticos.

O problema continua nas estações elevatórias e se agrava nas estações de tratamento, pois nelas o volume de esgotos é grande e passa por uma série de processos que produzem substâncias causadoras de odor.

Existem várias medidas preventivas que devem ser tomadas durante o projeto das três unidades básicas do sistema: rede coletora, estação elevatória e estação de tratamento de esgotos.

4.1 Projeto de rede coletora de esgotos

A presença de sulfetos em concentrações elevadas é a grande responsável pelo aparecimento de odor em tubulações coletoras de esgotos. Os problemas causados pelos sulfetos (odor e corrosão das tubulações) "podem ser sérios se a DBO for alta e/ou as condições de fluxo no coletor forem inadequadas".

4.1.1 Geração dos sulfetos e seus efeitos

De acordo com Almeida e Ludwig, a presença de sulfetos nos esgotos pode ser devida à descarga direta de alguns esgotos industriais nos coletores ou, principalmente, causada pela redução bacteriológica dos sulfatos, os quais são encontrados na água potável, e cuja concentração aumenta com o uso da mesma pelo homem. Esta atividade bacteriológica é concentrada numa camada de limo que se desenvolve nas superfícies submersas dos coletores. A geração de sulfetos no esgoto propriamente dito é geralmente pequena e pode ser desprezada.

A reação do sulfeto com água resulta numa mistura do íon HS⁻ e do gás sulfídrico, H₂S. Após a formação desse gás, parte dele escapa do esgoto para a zona de ventilação do coletor, causando problemas de odor, e parte é transferida para as superfícies do coletor, podendo dar origem à corrosão (ver figura 3).

Como os sulfetos são formados pela redução dos sulfatos, na ausência de oxigênio, o balanço de oxigênio no es-

goto é representado pela quantidade de oxigênio inicialmente disponível no esgoto mais a taxa de oxigênio transferida pela aeração da superfície contra a demanda de oxigênio pela ação bacteriológica.

Existe inicialmente no esgoto fresco uma quantidade de oxigênio dissolvido que persiste, a concentrações decrescentes, ao longo de todo o sistema coletor. Em algum ponto do sistema, o oxigênio dissolvido é exaurido, pois a demanda é maior que o fornecimento, e os sulfetos aparecem. À medida que as concentrações de sulfeto se elevam, surgem os problemas com odor e corrosão, o que geralmente ocorre nos coletores-tronco ou interceptores.

A formação do gás sulfídrico é acelerada em tubulações cujas declividades não possibilitam uma autolimpeza adequada. Almeida e Ludwig afirmam que, exceto onde esgoto muito forte e/ou altas temperaturas ocorrem, a manutenção de velocidades de 0,6 m/s (ou maiores, durante os períodos de vazão máxima) garante a ausência de odor e corrosão. Por outro lado, quando o projeto leva a velocidades insuficientes para a autolimpeza, a deposição de sólidos e o desenvolvimento de limos nas superfícies molhadas diminuem a velocidade, podendo haver um aumento acentuado na concentração de sulfetos.

Embora a completa ausência de sulfetos seja desejável, em certos casos isso não se torna economicamente possível através da escolha de declividades e diâmetros adequados. Em áreas planas, essa escolha pode gerar custos excessivos de escavação e, eventualmente, bombeamento adicional, tornando-se então necessária uma comparação econômica com o emprego de projetos especiais.

4.1.2. Taxa de geração de sulfetos em tubulações parcialmente cheias

A taxa de produção de sulfetos num coletor é proporcional à temperatura e DBO do esgoto. A temperatura e a concentração de DBO são combinadas num único parâmetro denominado DBO efetiva ou EDBO. A taxa de absorção de oxigênio na superfície é determinada principalmente pela velocidade e declividade do coletor.

A possibilidade da geração de sulfetos pode ser estimada usando a seguinte fórmula:

$$Z = \frac{\text{EDBO} \times (p/b)}{1/2 \times 1/3 \times O}$$

onde:

EDBO = DBO efetiva, representada

pela condição média encontrada durante o trimestre mais quente do ano;

p/b = relação entre a largura da superfície e o perímetro molhado;

l = declividade do coletor;

Q = vazão de esgotos (m^3/s).

Com valores de Z acima de 32.800, a geração de sulfetos e os problemas de odor e corrosão resultantes provavelmente ocorrerão. Com valores de Z abaixo de 16.400, a geração de sulfetos nunca foi observada.

Em grandes interceptadores, a razão entre a área superficial e volume torna-se reduzida e a absorção de oxigênio na superfície não é suficiente para manter um balanço de oxigênio positivo. Para fins de projeto, considera-se que para vazões de até $1 m^3/s$, tendo $Z = 32.800$, obter-se-á um dimensionamento seguro.

4.1.3. Metodologia sugerida para o projeto de coletores

O problema de controle de sulfetos pode ser muito mais severo durante os anos iniciais de operação de um

coletor, quando as vazões e velocidades resultantes são consideravelmente menores que as vazões de fins de plano.

Visando simplificar o controle da geração de sulfetos em coletores, Almeida e Ludwig elaboraram um gráfico apresentado na figura 10. A direita estão as duas curvas mostrando as velocidades à meia-seção necessárias para o projeto adequado dos coletores, incluindo considerações quanto ao controle dos sulfetos, bem como à autolimpeza. Essa figura também inclui curvas para converter a DBO a qualquer temperatura em EDBO.

4.1.4. Cuidados adicionais

Além de se tentar minimizar a geração de sulfetos nos coletores, deveria se evitar o lançamento de esgotos industriais que contenham substâncias causadoras de odor, sem um pré-tratamento. Uma legislação adequada, acompanhada por uma boa fiscalização, ajudaria a solucionar parte do problema.

Deve-se também tomar cuidado ao se projetar junções e poços de visitas, a fim de evitar áreas turbulentas

nas quais os sólidos pudessem se separar da corrente líquida e se depositar nas paredes.

4.2. Projeto de estação elevatória

Em certos casos, dependendo do lugar a ser instalada e das características do esgoto que irá bombear, uma estação elevatória deve ser projetada com equipamentos que evitem problemas de odor e corrosão futuros.

Esses equipamentos consistem, basicamente, de sistemas de captação e tratamento dos gases provenientes do esgoto.

4.1.2. Exemplo de um sistema de controle de odor

No começo da década passada, foi projetada e construída uma estação elevatória na Baía de San Diego, em Coronado, Califórnia, cujos gases eram captados e dirigidos para um campo filtrante com aeração subsuperficial ou, em ocasiões especiais, para um filtro de carvão ativado. Durante a operação normal, não haveria necessidade de criar uma corrente de ar porém, foi prevista uma movimentação

VELOCIDADE EM m/s À MEIA-SEÇÃO NECESSÁRIA PARA EVITAR O AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE S E PARA AUTO-LIMPEZA NAS TUBULAÇÕES DE ESGOTOS

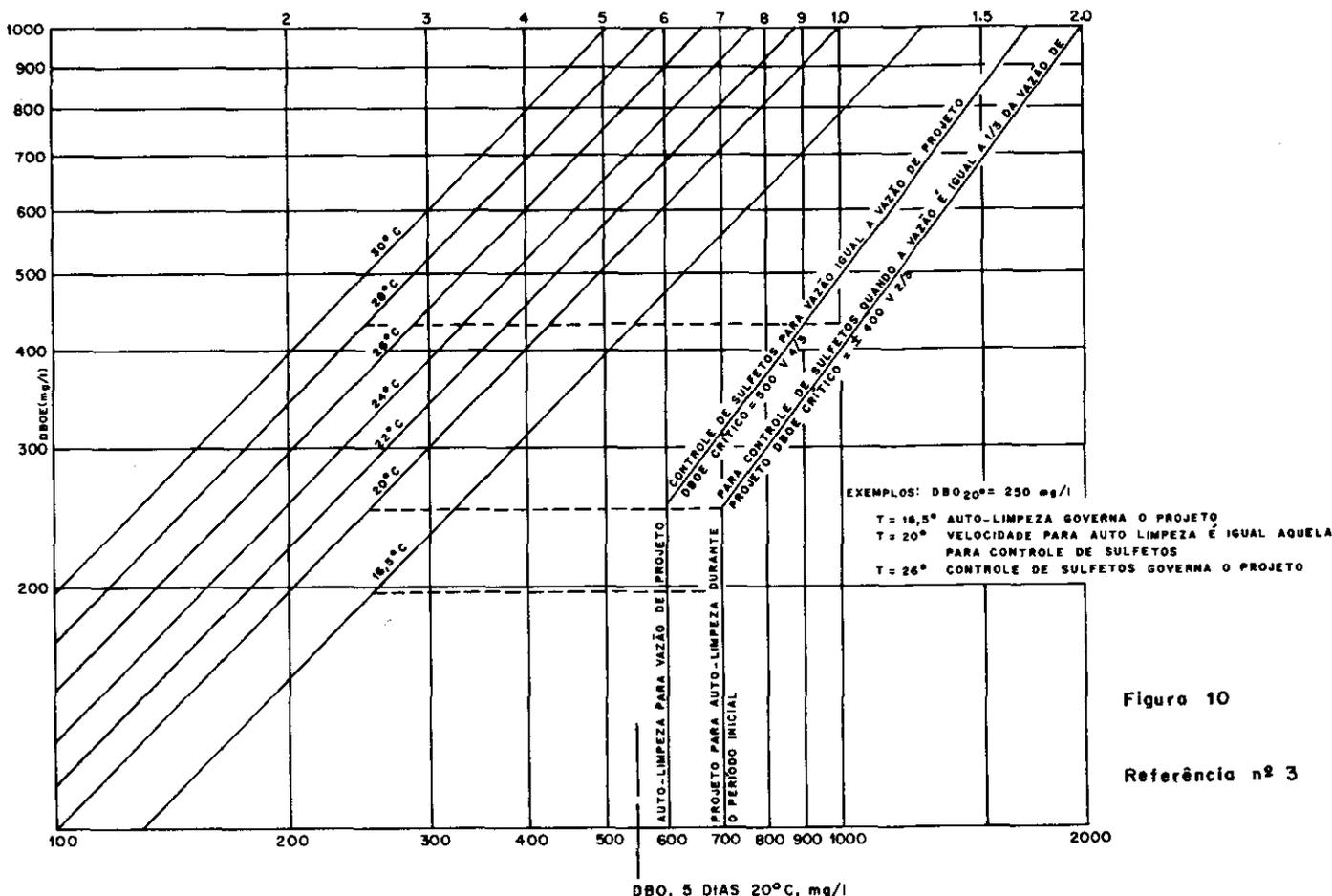


Figura 10

Referência nº 3

Figura 10
Referência n.º 3

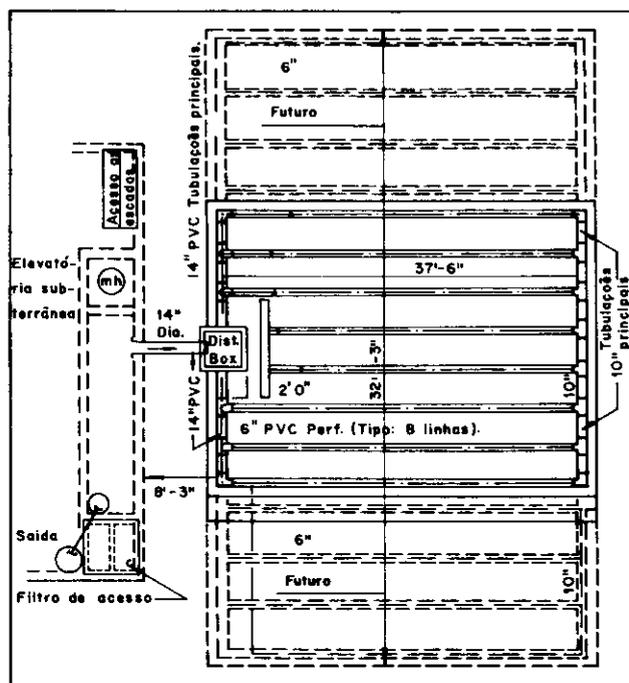
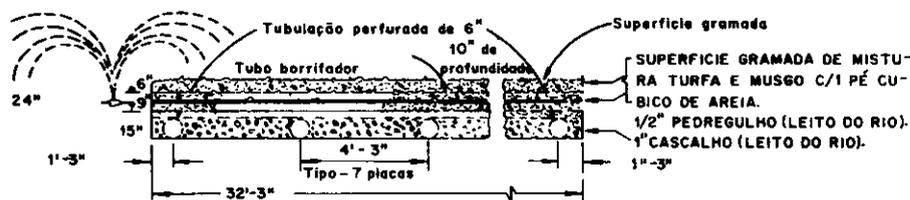


FIGURA 1 — PLANTA do filtro instalado na estação de bombeamento trans-baía.
 Figura 2 — mostra detalhes do filtro composto de carvão ativado e terço colocado sobre as linhas de distribuição perfuradas.



Figuras 11 e 12 — Referência n.º 5

mecânica de ar a partir do sistema de ventilação do poço de sucção, tanto para o solo filtrante como para o carvão ativado.

A disposição da rede distribuidora de odor no solo é semelhante à de um sistema de valas de infiltração utilizado para tratamento de efluentes de fossas sépticas, pois a tubulação perfurada foi lançada numa camada de brita de 1", coberta por outra de 1/2", acima da qual há uma camada de turfa e um gramado com irrigação automática. Existem tubos de comunicação nos dois lados das linhas de distribuição de gás para que o sistema seja fechado e, portanto, as pressões balanceadas completamente (ver figuras 11 e 12).

Os materiais adotados foram fibra de vidro para a tubulação de ventilação e PVC para os tubos subsuperficiais, para evitar problemas com corrosão.

Foram medidas as concentrações de gás sulfídrico em vários locais do sistema e verificou-se que, enquanto se obtiveram concentrações de 5 ppm nos poços de sucção e de inspeção, nada foi detectado acima dos poços, na superfície do filtro, bem como 3" abaixo da cobertura do filtro. As substâncias

poluidoras foram completamente decompostas pelas bactérias de solo e não têm efeito negativo sobre o gramado.

Não é necessária a manutenção do leito filtrante pois as tubulações perfuradas e o material granular foram dimensionados a fim de se evitar obstruções futuras.

4.2.2. Outros métodos para controle de odor

Existem vários outros métodos, porém alguns com eficiência não totalmente comprovada, que devem ser estudados durante o projeto de uma estação elevatória de esgotos. Como exemplos, temos:

a) um sistema de solo filtrante para os gases, semelhante ao de Coronado, porém com buracos cheios de brita ou drenos; não recomendado para locais com nível d'água alto;

b) um sistema incinerador usando misturas de terras para a filtração dos gases combustíveis; os resultados indicam que sulfetos, aldeídos, amônia e outros gases poluidores são reduzidos a concentrações menores que 0,0001 ppm, indetectável pelos homens;

c) o sistema de carvão ativado é um processo efetivo porém demanda reposição periódica do carvão e operação contínua do ventilador.

Para cada caso é necessário levar em consideração, além dos aspectos técnicos, os custos de construção, operação e manutenção que cada sistema acarretaria, antes de se optar por alguma solução.

4.2.3. Cuidados necessários

Qualquer que seja a solução adotada, certos cuidados devem ser tomados para minimizar a propagação de odor. São eles:

— bombeamento frequente para evitar o crescimento de bactérias redutoras de sulfato;

— transições suaves em condutos e canais para minimizar deposição de material;

— provisão para meios adequados de limpeza das paredes e do piso do poço de sucção;

— sistema simples de retirada e depósito de espuma e graxas acumuladas no poço de sucção e também de retirada do material retido nas grades;

— acessos e iluminação adequados às áreas necessitadas de manutenção; e

— velocidades suficientes para prevenir acumulação de sólidos.

4.3. Projeto de estação de tratamento

Ao se projetar uma estação de tratamento de esgotos, o projetista precisa lançar mão de uma série de artifícios nos diversos processos do sistema escolhido para evitar os problemas causados pela propagação de gases contendo substâncias causadoras de odor.

4.3.1. Escolha da localização

Um estudo cuidadoso das diversas áreas possíveis de serem utilizadas deve ser feito, visando assim minimizar o rigor necessário ao controle de odor para que uma solução menos complexa possa ser implantada. Nesse estudo precisam ser considerados vários parâmetros, entre eles:

— população afetada; é fácil de constatar que o efeito de um odor numa área residencial será completamente diferente que numa região industrial; deve-se também estudar o impacto sobre os operadores da estação, lembrando-se que as pessoas, quando expostas regularmente a odores ofensivos, tornam-se insensíveis a eles num certo grau;

— ventos predominantes: as velocidades e direções do vento de cada direção precisam ser estudadas para cada local possível; locais expostos a brisas contínuas tornam-se mais convenientes que pontos sujeitos regularmente a calmarias;

Tabela n.º 3

Distâncias mínimas de centros urbanos

Unidades de tratamento de esgotos	Distância (m)
● decantador	120
● filtro biológico	120
● tanque de aeração	150
● lagoa aerada	300
● digestor de lodo	150
● unidade de lodo:	
— leitos de secagem abertos	150
— leitos de secagem fechados	120
— tanques de armazenamento	300
— espessadores	300
— filtros a vácuo	150
— incinerador	150
— oxidação de ar úmido (wet air oxidation)	450
● tratamento secundário:	
— filtração aberta	150
— filtração fechada	60
— desnitrificação	90
— lagoa (polishing)	150
● disposição no solo	150

— distâncias de áreas densamente habitadas: devem ser obedecidas certas distâncias mínimas de centros urbanos, dependendo do processo de tratamento empregado na estação; a tabela 3 mostra as distâncias mínimas aconselháveis quando não se adotam equipamentos controladores;

— topografia local; é aconselhável um local onde os movimentos de ar garantam trocas suficientes para dissipar rapidamente o ar sujo;

— isolamento por distâncias ou "pára-choques" naturais: há casos em que árvores, formações de terra ou fachadas artificiais são utilizadas para interceptar o fluxo dos gases; e

— outros fatores, tais como uso e formato da área, temperatura, precipitação e os efeitos de patogênicos transportados pelo ar, aerossóis, barulho e tráfego de veículos.

4.3.2. Seleção dos materiais de construção

Uma grande frente de odor são as superfícies nas quais as substâncias causadoras de odor podem ser adsorvidas fisicamente por quimissorção, condensação ou cromossorção (chromosorption). A porosidade, aspereza, cor e composição dos materiais influenciam na adsorção das substâncias. As superfícies devem ser densas e regulares, claras, quimicamente estáveis ou inertes e não condutoras de calor.

Deve-se tomar muito cuidado ao selecionar os materiais para a construção de uma estação de tratamento de esgotos, principalmente nos locais onde há maior probabilidade de formação de gases odoríferos, como canais, poços ou tanques nos quais as águas servidas e sólidos estarão sempre presentes.

Aconselha-se o uso de tijolos vitrificados lisos e cerâmicas brilhantes e deve-se evitar ao máximo a utilização de tijolos ásperos, concreto poroso e plásticos escuros.

Precauções especiais também devem ser tomadas com relação aos uniformes, cabelos e veículos de funcionários da estação que tenham contato com o público.

4.3.3. Sistemas de ventilação

Outra forma de prevenção de odor é a ventilação forçada nos locais onde haverá gases odoríferos, pois uma ventilação adequada evita que se atinjam concentrações elevadas e ofensivas das substâncias causadoras de odor. O ar ventilado só será recirculado após tratamento para retirada das substâncias odoríferas ou então será descarregado de forma a não causar incômo-

do aos trabalhadores da estação ou à vizinhança.

Sempre que há acúmulo de gases odoríferos existe a possibilidade da presença de algum gás perigoso. Isso faz com que um sistema de ventilação se torne duplamente necessário nas áreas susceptíveis. Nesses casos aconselha-se que seja instalado um sistema de alarme na entrada das áreas críticas para o caso de ausência de movimento do ar e também de avisos do que fazer nesses momentos.

O ar fresco de fora da estação deve ser forçado para a área ventilada, empurrando assim o ar sujo para fora através de aberturas situadas na parte superior ou inferior da parede de acordo com o peso específico do gás a ser removido. O gás sulfídrico, por exemplo, é mais pesado que o ar, sendo, portanto, encontrado perto do piso, enquanto que a amônia, que é mais leve que o ar, se acumula próximo ao teto.

4.3.4. Precauções para facilitar a manutenção

Qualquer que seja o processo escolhido, certas precauções devem ser tomadas a fim de se evitar acumulações de matéria orgânica que venham a produzir odor, facilitando, assim, a manutenção da estação. Essas precauções são as seguintes:

— ausência de cantos e ângulos salientes onde os sólidos possam se acumular facilmente e que dificultem a limpeza;

— ausência de superfícies ásperas difíceis de limpar e propícias à acumulação de matéria orgânica e à formação de limo;

— suprimento adequado de água de processo pressurizada (de preferência quente) com linhas de distribuição e mangueiras suficientes;

— velocidades adequadas nos condutos fechados e abertos, a fim de evitar a separação dos sólidos;

— bom sistema de drenagem para proporcionar o escoamento adequado das águas de lavagem e, se possível, canais cobertos para evitar a fuga de eventuais gases presentes;

— acessos a todos os locais onde for necessária manutenção; e

— iluminação adequada aos diversos pontos da estação, particularmente embaixo e atrás dos tanques e canais.

Além desses itens, deve-se sempre ter em mente que grande parte do problema de odor em estações de tratamento de esgotos poderia ser evitada caso existissem uma boa legislação e uma conscientização geral, que fizessem com que certos efluentes industriais sofressem um pré-tratamento antes de serem lançados no sistema municipal de esgotos.

4.3.5. Tratamento preliminar

No local onde o esgoto bruto entra por gravidade na estação de tratamento poderá haver uma concentração de gases odoríferos que, no primeiro ponto de turbulência, irá escapar para a atmosfera. Geralmente, essa turbulência ocorre numa calha, num deslize ou numa câmara aerada, usualmente abertos.

Quando se deseja evitar os problemas de odor, deve-se fechar esse ponto, coletar e tratar os gases despreendidos, ou instalar um bom sistema de aeração, ou ainda adicionar ar ou outro agente oxidante num local fechado a montante.

Os trapos e outros materiais orgânicos acumulados nas grades e canais de comunicação precisam ser removidos diariamente e as diversas unidades precisam ser limpas com jatos d'água para que se mantenham livres de odor.

Devem ser previstos meios para facilitar a remoção e transferência da areia e do material retido nas grades, se possível em recipientes hermeticamente fechados, pois esses materiais podem vir a se transformar em uma fonte de odor.

Nos casos em que o esgoto, ao sair do tratamento preliminar para o decantador primário, tiver pouco ou nenhum oxigênio dissolvido, é necessário prever a adição de oxigênio para evitar condições anaeróbicas no tanque de decantação.

4.3.6. Decantador primário

Geralmente decantadores primários bem operados não se constituem em fontes de odor a menos que os equipamentos de remoção de lodo e espuma sejam inadequados. Esses equipamentos devem ser previstos para operar quase que continuamente e deverão remover todo o lodo de um tanque dentro de duas horas aproximadamente. Durante a remoção e transferência do lodo para o local onde será tratado, deve-se evitar que este se torne séptico, pois nesse caso emitirá gases odoríferos que, além do desconforto que causam, podem interferir no processo de decantação.

Portanto, para que seja possível o controle do odor nessa fase, devem ser previstos equipamentos especiais para garantir uma boa operação do decantador, uma remoção adequada de lodo e espuma e uma limpeza eficiente, mesmo sob condições climáticas desfavoráveis.

Deve-se tomar muito cuidado ao se escolher o ponto onde o lodo recirculado retornará ao processo pois, caso este apresente uma grande demanda de oxigênio, poderá causar condições sépticas. Portanto, o lodo re-

circulado deve ser misturado ao esgoto antes que este entre em canais aeradores ou então em unidades de lodos ativados, pois estes têm a propriedade de adsorver parte das substâncias causadoras de odor.

4.3.7. Estabilização por filmes fixos

Unidades de processos de filmes fixos (film fixed units), tais como biodiscos ou filtros biológicos, podem emitir odores quando não estiverem com um suprimento de ar adequado. Biodiscos poderão também produzir odores se a rotação dos discos parar, principalmente em locais com clima quente, a menos que o esgoto presente no tanque seja rapidamente removido e este seja totalmente lavado.

O meio filtrante de um filtro biológico deve estar molhado sempre, como também deve estar continuamente exposto ao ar fresco para que as condições aeróbicas sejam mantidas e, dessa forma, não haja problemas de odor. Se alguns drenos ficarem obstruídos, a circulação de ar diminuirá, alguns pontos se tornarão anaeróbicos e, conseqüentemente, sépticos e malcheirosos. Caso haja dúvidas sobre a eficiência da ventilação natural, deve-se prever uma capacidade maior de recirculação ou um sistema de ventilação forçada.

Deve-se tomar cuidados especiais ao se projetar os equipamentos de limpeza dessas unidades, pois todas as partes internas de um filtro biológico e de um biodisco que tiverem contato com os esgotos precisam ser lavados com jatos de água diariamente para não se transformar em fontes de odor.

4.3.8. Estabilização por lodos ativados

Quando corretamente projetadas e adequadamente operadas, as unidades de tratamento por lodos ativados raramente causam problemas de odor. Se não estiverem bem aerados, os lodos ativados tornar-se-ão anaeróbicos em aproximadamente meia hora e sépticos em umas duas horas. Esses períodos dependem da temperatura, da concentração dos MLVSS e do OD inicial.

Nas estações onde o controle de odor é necessário, deve-se equipar as unidades de lodos ativados com aeradores em certos locais ou com meios de transferência de ar entre os tanques.

Caso os aeradores provoquem uma agitação irregular no tanque, os lodos irão formar depósitos em certas áreas que poderão produzir gases odoríferos em altas taxas. Isto pode ser evitado com a previsão de limpezas regulares dos difusores para que estes

não fiquem obstruídos, como também da tubulação de ar e dos compressores.

4.3.9. Lagoas de estabilização

Lagoas anaeróbicas não são geralmente recomendadas para uso municipal por causa dos problemas contínuos de odor inerente ao processo. Entretanto, lagoas aeróbicas e facultativas, quando projetadas, construídas e operadas corretamente, não têm problemas de odor.

As algas se constituem em uma das principais fontes de oxigênio em lagoas facultativas não aeradas. Entretanto elas também se constituem numa fonte de odor onde o clima, durante os meses quentes, propicia condições ideais de crescimento durante o dia e interrompe o fornecimento de oxigênio (com a ausência da fonte de energia — o sol) à noite. Como as algas produzem compostos odoríferos em suas células, quando elas morrem suas células se rompem e esses compostos são liberados, propagando odor mais forte que os encontrados em lagoas anaeróbicas.

Lagoas aeróbicas ou facultativas sobrecarregadas se tornarão anaeróbicas e, portanto, sépticas e malcheirosas se a sobrecarga continuar por tempo suficiente para desenvolver os microorganismos redutores de sulfato ou outros capazes de formar substâncias odoríferas. Portanto, é necessário se tomar cuidados durante o projeto para que isto não ocorra, como, por exemplo, operando as duas primeiras células em paralelo e não em série ou ainda recirculando o efluente para o início do processo.

As margens das lagoas devem ser regulares e sem vegetação para facilitar a limpeza e impedir acumulação de espuma, gorduras e matéria orgânica que possam ser fonte de odor.

Para impedir que gases anaeróbicos depositados no fundo da lagoa atinjam a superfície pela ação dos ventos ou outras condições climáticas, devem-se construir chicanas próximas à entrada da primeira lagoa.

Em certos casos, curto-circuitos nas lagoas fazem com que algumas partes da lagoa fiquem com OD insuficiente, pois não são efetivamente utilizadas. Isto deve ser evitado durante o projeto.

4.3.10. Decantador secundário

Geralmente processos com tratamento secundário terminam com um decantador secundário. Se os esgotos estiverem aeróbicos ao atingirem essa etapa e os tanques forem regularmente limpos, essa área estará livre de problemas de odor. Entretanto, se lodos ativados forem compactados e

conservados nesse tanque por muito tempo, antes de serem reservados, eles se tornarão sépticos e mal-cheirosos, além de dificultarem a estabilização biológica dos tanques de aeração e a desidratação do lodo.

4.3.11. Disposição final

A manutenção das instalações de disposição final deve ser feita regularmente pois, caso contrário, apesar de os líquidos aí presentes já estarem tratados, esses pontos exalarão odor.

O local onde o corpo receptor recebe os efluentes deve apresentar regime turbulento para que todos os sólidos remanescentes se dispersem antes de atingirem uma zona calma que possibilite sua decantação.

4.3.12. Sistemas de recirculação de lodo

Todos os equipamentos utilizados para recircular o lodo devem sofrer manutenção periódica e cuidadosa e, para facilitar essa manutenção, deve-se dar atenção especial aos pontos citados no item 4.3.4 durante o projeto de tais instalações. Temperatura e umidade altas e pH abaixo de 7,5 auxiliam na produção de odor. Deve-se tentar sempre trabalhar com o lodo fresco, pois quanto mais fresco, menos odor exalará.

Os poços de sucção e canais de recirculação de lodo devem ser fechados e providos de sistemas de ventilação quando necessário para se evitar condições incômodas.

4.3.13. Sistemas de tratamento de lodo

As vezes os tanques de armazenamento de lodo estão localizados antes do tratamento de lodo ser iniciado ou, outras vezes, em fases intermediárias do processo. Os equipamentos devem ser projetados para processar continuamente todo o lodo à medida que vai sendo produzido, até que esteja pronto para ser disposto, totalizando um tempo de detenção de meio dia, no máximo. Em certos casos é aconselhável cobrir e prover de sistemas de ventilação os tanques de armazenamento, como também os espessadores de lodo.

Também os processos de desidratação e estabilização do lodo apresentam problemas de odor. A filtração a vácuo, um dos processos da desidratação de lodo, quando atinge altos valores de pH libera amônia, causando problemas de odor. Torna-se então necessário um tratamento especial dos gases liberados.

A incineração de lodos e sólidos apresenta problemas de odor sempre que os sólidos espalhados se putre-

fazem ou quando escapam gases não completamente oxidados. A oxidação completa é obtida adequando-se os valores de tempo, temperatura, turbulência e oxigênio, que variam de acordo com o material a ser oxidado. Nos casos em que for provável uma oxidação incompleta, deve-se prover o sistema com um purificador de gases ou com uma chama direta.

Os efluentes líquidos provenientes dos processos de tratamento de lodo também necessitam de cuidados especiais para não prejudicarem as etapas seguintes e nem causarem mau odor.

4.3.14. Fossas sépticas (Septage handling)

A maior fonte de emanção de odor em sistemas de esgotos pode vir a ser as instalações de transporte e recebimento do material de fossas sépticas mal-projetadas ou operadas. Geralmente esse material está muito diluído (aproximadamente 97% são água), mal-cheiroso, rico em nitrogênio (mais que 500 mg/l de N total), muito putrecível (com DBO₅ entre 2 mil e 5 mil mg/l) e contém grande número de vírus, bactérias ou outros microrganismos patogênicos. Além disso pode conter produtos químicos que interferiram no tratamento biológico.

Para prevenir essa interferência como também a produção de odor, devem ser tomadas certas precauções na escolha do local de mistura desse material ao da estação, bem como na fiscalização dos equipamentos limpafossas. Deve haver uma legislação para regulamentar todos os dispositivos necessários para uma operação eficiente e segura desses equipamentos, como também solicitar uma boa caracterização dos efluentes por eles transportados.

4.3.15. Disposição no solo (Land disposal)

Uma série de fatores técnicos, além dos econômicos, devem ser estudados para se escolher uma área apropriada para receber lodos e efluentes de estações de tratamento de esgotos, como: tipo e usos do solo, clima, características do esgoto e/ou do lodo, águas superficiais, estações, densidades demográficas e vegetação existente.

Lodos estagnados e efluentes incompletamente tratados são fontes potenciais de odor. Durante o projeto, é necessário prever áreas alternativas para disposição final para que os operadores possam aliviar rapidamente uma área que venha a trazer problemas de odores incômodos.

Como o processo de disposição no solo está sujeito a reações imprevisí-

veis dos homens e da natureza, devem ser sempre preferidas áreas distantes de aglomerados urbanos.

5. CONTROLE DE ODORES NA OPERAÇÃO DE ETEs

Como já foi visto, grande parte dos problemas de odor pode ser prevenida se considerada nas fases de projeto e construção. Projetando uma estação de esgotos, numa elevatória ou um sistema coletor, o engenheiro pode prever e prevenir problemas com odor. Estudos-piloto ou experiências de laboratório podem ajudar o engenheiro nesse sentido.

A septicidade pode ser evitada através de:

- garantia de oxigênio dissolvido,
- maiores cuidados com a declividade para garantir velocidades adequadas, no sentido de evitar deposição de material insolúvel,
- garantia de pequenos tempos de detenção, particularmente em temperaturas acima de 4°C,
- limpeza das tubulações e paredes das instalações,
- controle dos efluentes industriais, exigindo-se seu pré-tratamento antes de serem coletados pelo sistema público,
- treinamento do pessoal de operação no sentido de conseguir um bom programa operacional.

5.1. Adição de produtos químicos

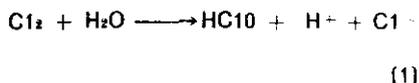
A adição correta de produtos químicos pode prevenir a liberação de substâncias mal-cheirosas. A adição de álcalis, como cal, por exemplo, em águas contendo sulfetos pode, através de um aumento de pH, manter os sulfetos numa forma ionizada ao invés de gás sulfídrico — H₂S. Outros produtos químicos podem ser utilizados para oxidar as moléculas causadoras de odor, em moléculas mais estáveis, inodoras ou então para aumentar o potencial de oxidação (ORp) e prevenir a redução dos sulfetos. Os produtos químicos também são usados para inativar bactérias que contribuem para a produção de compostos odorosos.

Para a seleção do produto químico a ser utilizado, alguns fatores devem ser considerados. Custo, efeito acumulativo nas águas receptoras e no lodo, manutenção de equipamentos, espaço necessário, efeitos ambientais etc.

5.1.1. Cloro e compostos clorados

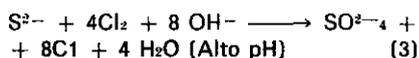
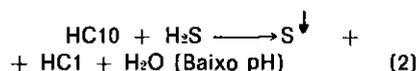
A cloração é uma das práticas mais antigas. É efetiva no controle do odor, por duas razões básicas. O cloro é um forte agente oxidante e um bactericida potente.

Quando o cloro gasoso é adicionado à água, reage imediatamente formando o ácido hipocloroso (HC10) de acordo com a seguinte reação



O ácido hipocloroso (HC10) e o íon hipoclorito (ClO^-) são agentes ativos nos processos de cloração; são também agentes ativos quando solução de hipoclorito de sódio (NaClO) ou hipoclorito de cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) é usada na solução.

O cloro reage rapidamente com alguns compostos presentes no esgoto porque é um forte agente oxidante. Uma das mais importantes dessas reações é com o H_2S . O cloro tem sido usado com sucesso na destruição de sulfetos e na prevenção de sua formação nos coletores-tronco, elevatórias e estações de tratamento de esgoto. A reação da solução de Cl_2 com H_2S tem, como resultado, oxidação de sulfetos em enxofre coloidal ou sulfato e a produção do ácido clorídrico de acordo com as seguintes equações:



Na equação (2), o enxofre é precipitado. Com base nessa equação, duas partes de cloro são necessárias para a oxidação de cada parte de sulfeto como ácido sulfídrico. De acordo com a equação (3), 8,4 partes são necessárias.

O cloro reage tanto com os agentes redutores inorgânicos, como com as moléculas orgânicas. Isto resulta numa demanda de cloro mais alta do que simplesmente aquela dada pela equação (2). Por outro lado o maior interesse, além do aumento da demanda de cloro, diz respeito ao uso de cloração como método de controle de odor e a produção de compostos organo-clorados como clorofórmio, clorofenóis, metilcloretos e numerosos outros que são tóxicos (e produtores de odor) mesmo em baixas concentrações. Assim sendo, os produtos finais provenientes da cloração de esgotos precisam ser bem estudados.

Mais importante que seu caráter de forte oxidante no controle de odor, é a função do Cl_2 como agente bactericida. As bactérias, que vivem em ambientes anaeróbicos, causam a formação de produtos mal-odorosos. Quantidades de Cl_2 insuficientes para satisfazer à demanda de cloro de águas de esgoto serão efetivas na inibição das bactérias reductoras de sulfatos e

produtoras de odor. Por outro lado o cloro destrói também algumas bactérias importantes para os processos unitários dos tratamentos biológicos.

Para se obter melhores resultados na redução de odores com o cloro, é necessário prever uma mistura inicial muito boa, entre a água residuária e a solução de cloro. Misturadores foram especialmente desenvolvidos para propiciar um longo período de contato, proporcionando dessa forma uma melhor redução de odor, por quantidade de cloro adicionada.

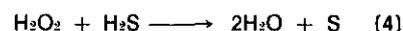
Embora seja praticamente impossível a exata determinação da quantidade de cloro necessária para um efetivo controle de odor, experimentalmente sabe-se que quantidades em torno de 80% da demanda de cloro são satisfatórias no controle do odor. Uma regra prática é considerar uma quantidade de cloro em peso oito a dez vezes a quantidade de H_2S medido.

A escolha do ponto, ou pontos de aplicação do cloro, deve ser feita com bastante cuidado, tendo-se em conta mistura e tempo de contato. É mais eficiente a aplicação do produto antes do aparecimento dos sulfetos. Este trabalho deve ser feito através de estudos-piloto.

O cloro pode ser dosado de forma gasosa, líquida ou sólida. Assim sendo, é necessário considerar aspectos de custo, segurança etc. Compostos clorados (como dióxido de cloro e cloramínicos) podem em alguns casos dar melhores resultados que o cloro propriamente dito, porém, via de regra, custam mais caro.

5.1.2. Peróxido de hidrogênio

Apesar de o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) ser um desinfetante fraco, é um oxidante bastante prático para o controle de odores no esgoto. Por ser um produto químico versátil, seu uso tem sido aumentado nos serviços municipais de tratamento de esgoto. A reação química envolvendo H_2O_2 e H_2S é a seguinte:



Teoricamente cada molécula de H_2O_2 reage com uma molécula de H_2S , for-

mando água e enxofre elementar. A prática tem mostrado que 1,5 a 4,0 mg/l de H_2O_2 são necessários para oxidar 1,0 mg/l de H_2S .

Embora as concentrações de H_2O_2 normalmente utilizadas não são perigosas, contato com partes sensíveis do corpo humano deve ser evitado bem como a inalação de altas concentrações de vapores de peróxido de hidrogênio. Contatos com a pele podem causar manchas acompanhadas de sensações de pontadas.

As vantagens no uso do H_2O_2 para o controle do odor são:

1) Pode ser mais econômico que outro aditivo químico, requerendo equipamentos mais baratos.

2) Ele funciona como uma fonte de oxigênio dissolvido quando necessário, e também serve de inibidor de posterior redução dos sulfatos.

3) É um produto relativamente seguro e forma produtos não tóxicos. Para que propicie um efetivo controle de odor, é necessário um adequado tempo de contato e uma mistura bem feita.

A tabela abaixo apresenta alguns dados obtidos na prática a respeito da relação $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{S}$ no controle do odor.

Foi constatado, empiricamente, que tanto para regimes forçados como por gravidade, recomenda-se que quando se usa H_2O_2 , seja aplicado H_2S numa razão de 2,5 mg/l por mililitro de H_2S , durante várias horas antes de se acertar definitivamente a dosagem.

5.1.3. Ozona

O ozona é um forte agente oxidante bem como um desinfetante efetivo. Tem sido usado no tratamento de gases odorosos em diversas estações de tratamento. Ozona é bastante efetivo no tratamento do H_2S atmosférico, mas não na massa líquida.

Alguns aspectos relativos à segurança precisam ser considerados, pelo fator de que concentrações acima de 1,0 ppm não devem ser inaladas; portanto os gases precisam ser confinados para ser tratados com ozona.

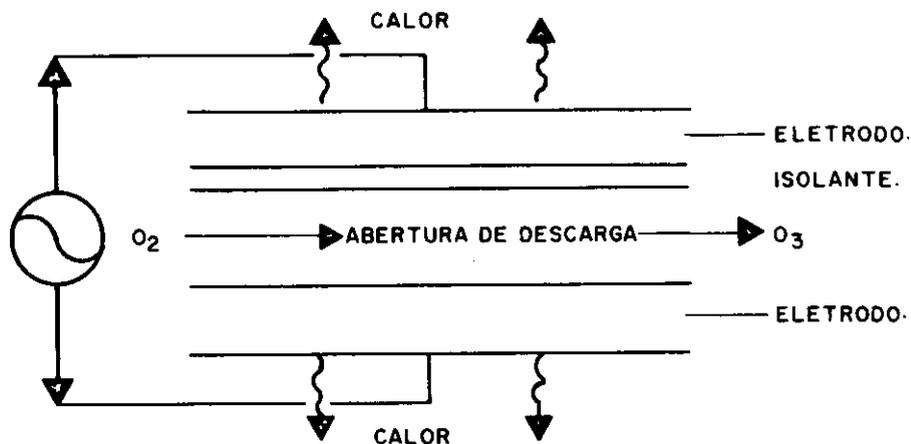
O ozona é um gás instável, e deve ser gerado no local e no momento da aplicação. A dosagem depende do ti-

Relação $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{S}$	Local de aplicação
1,1 : 1	Tubulação forçada de 1,6 Km - Houston, Texas
3,0 : 1	Tubulação forçada de 3,2 Km - Sacramento, California
2,7 : 1	Tubulação forçada - Seattle, Washington
1,8 : 1	Tubulação forçada - Corpus Christi, Texas
1,6 : 1	Escoamento por gravidade - Port Arthur, Texas

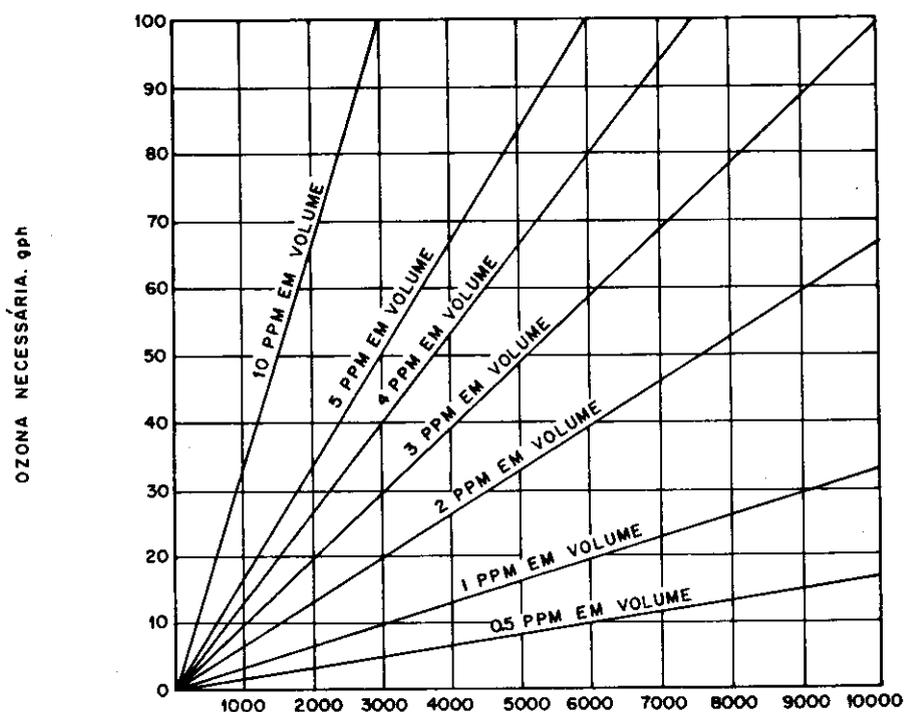
po de contaminante. Em geral a efetividade de ozonização depende fundamentalmente da mistura, tempo de detenção, temperatura umidade e da natureza dos contaminantes. As necessidades de ozona geralmente são pequenas, com 0,45 kg/l de ozona para tratar 140 a 170 m³/min de gás contendo 1,0 ppm em volume. Para altas concentrações de vários compostos orgânicos voláteis (como é o caso das emissões em tratamento de esgotos quentes) o ozona não oxida completamente os compostos orgânicos. Em alguns casos, cortinas de água são usadas anteriormente ao tratamento com ozona, para reduzir o conteúdo de voláteis.

Em geral para que o tratamento com ozona seja efetivo, devem ser previstos tempos de contato em torno de 15 a 40 segundos. Durante a reação, o ozona é amplamente reduzido a oxigênio, restando um residual de 0,1 ppm. Cuidados especiais são requeridos por causa desse residual, no sentido de se estudar a direção predominante dos ventos, áreas residenciais etc. Técnicas de dispersão ou tempo de detenção de poucos minutos normalmente são suficientes para reduzir este residual a níveis seguros.

Normalmente os equipamentos de ozonização são dotados de ventiladores, câmara de contato do ozona, tubos de conexão e sistema automático de controle. Os ventiladores têm capacidade de renovação de todo ar em 5 ou 6 minutos. A eficiência depende fundamentalmente do contato entre o ozona e os produtos causadores de odor. A concentração de ozona gerada é da ordem de 12 mil ppm em volume, sendo necessária 1 a 10 ppm de ozona (em volume) para o controle do odor, conforme tabela abaixo.



Esquema de um ozonizador



Vazão de ar com odor. (CFM AT 77°F, 1 ATM) Ozona necessária para o controle de odor por dosagem estabelecida. (Nota: cfm x 4719 x 10⁻³ = m³/s.)

Necessidade de ozona *

Aplicação	Ozona dosado ** (ppm em volume)
Caixas de areia aeradas	6 a 10
Estações elevatórias com aeração	6
Estações elevatórias sem aeração	4
Decantadores primários cobertos	1 a 3
Tratamento secundário	1 a 2
Decantadores secundários	1
Tanques de acumulação de lodo	10
Adensadores de lodo aerados	8

* O ozona é dosado no fluxo gasoso, não na água residuária.

** Considerando-se uma renovação de ar da ordem de 10 a 12 trocas por hora.

A câmara de contato deve ser dotada de chicanas para prevenir curto-circuito. A concepção do projeto depende de cada fabricante.

A figura abaixo ajuda no cálculo da dosagem necessária em função da vazão do ar, a ser tratado.

5.1.4. Permanganato de potássio

O permanganato de potássio (KMnO₄) é um forte agente oxidante, podendo ser usado em soluções aquosas em várias faixas de pH. Solução de permanganato de potássio tem sido usada com sucesso no tratamento de compostos sulfurosos, aminas, fenóis, compostos insaturados como estireno, acroleína e outras substâncias orgânicas no controle de odor. A tabela

abaixo indica alguns compostos que não reagem instantaneamente com o permanganato de potássio.

COMPOSTOS ODOROSOS QUE NÃO REAGEM INSTANTANEAMENTE COM COMPOSTOS ODOROSOS

Compostos alifáticos

- Acetona
- Dipropil cetona
- Metil isobutil cetona
- M-Butanol
- Metil etil cetona
- Cloreto de Metileno

Compostos que contêm nitrogênio

- Nitrobenzeno
- Piridina

Compostos sulfurosos

- Dissulfeto de carbono

Compostos aromáticos

Benzeno
Tolueno
Penta clorofenol

Compostos inorgânicos

Amônia
Monóxido de carbono

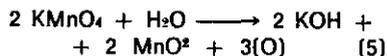
Compostos saturados, ou altamente clorados, geralmente não reagem com $KMnO_4$ ou qualquer outro oxidante às taxas apreciáveis. Quando esses compostos estão presentes, o $KMnO_4$ sozinho não deve ser usado.

Por outro lado, a tabela seguinte mostra alguns compostos que reagem com o $KMnO_4$, juntamente com suas demandas.

COMPOSTOS ODOROSOS QUE REAGEM COM PERMANGANATO DE POTÁSSIO

Tipo de compostos	Demanda de $KMnO_4$ calculada (kg $KMnO_4$ /kg substância)
Compostos alifáticos	
Formaldeídos	7,0
Acetaldeído	12,0
Acoleína	13,1
Compostos Aromáticos	
Benzaldeído	15,9
Estileno	20,2
Fenol	15,7
O-Cresol	16,6
O-Clorofenol	10,7
m-clorofenol	10,7
p-clorofenol	10,7
Compostos que contêm nitrogênio	
Dimetilamina	14,0
Trimetilamina	16,0
Monoetanolamina	8,6
Trietanolamina	10,6
Putrescina	13,1
Cadaverina	14,4
Indol	15,7
Escatol	16,4
Compostos Sulfurosos	
Dimetil sulfeto	3,4
Dimetil dissulfeto	5,6
Tiofeno	16,3
Sulfeto dietílico	2,3
Dissulfeto dietílico	4,3
Compostos Inorgânicos	
Gás cianídrico	3,9
Gás sulfídrico	12,4
Óxido nitroso	5,3
Dióxido de enxofre	1,6

Quando o $KMnO_4$ é utilizado para lavagem de gases, ele é reduzido a dióxido de manganês insolúvel.



O oxigênio formado reage imediatamente com os compostos orgânicos oxidáveis para formar compostos inodoros ou menos odorosos.

Algumas vantagens no uso do $KMnO_4$ são: sua facilidade de uso, facilidade de manuseio, estabilidade química, e não corrosividade para uma gama muito grande de materiais de construção.

5.1.5. Ajuste de pH

A adição de álcalis em esgoto doméstico pode ser usada para ajustar o pH e controlar a emissão de H_2S para a atmosfera. Como já foi visto, a quantidade de H_2S presente depende do pH da água residuária e da concentração de sulfetos presentes. Em atmosferas coletadas nos esgotos, geralmente são encontradas em formas insolúveis e solúveis uma mistura de ácido sulfídrico (H_2S , íon hidrossulfídrico (HS^-) e íon sulfídrico (S^{2-}) cuja vazão depende do material de construção da tubulação metálica. A pH próximo a 5,0 todo sulfeto dissolvido está na forma de H_2S ; a pH em torno de 9,0 está sob a forma de HS^- . A medida que se eleva o pH, o H_2S ioniza-se de forma que o H_2S pode ser minimizado aumentando-se o pH, pela adição de álcalis.

Deixando-se de lado o efeito que o aumento do pH tem sobre a solubilidade do H_2S , os álcalis são bons agentes desinfetantes a altas concentrações, inativando dessa forma a camada de lodo que se forma ao longo das paredes internas das tubulações de esgoto. A geração de sulfetos nos esgotos pode ser inibida por vários dias se isso ocorrer. Em pH 12, a geração de sulfetos nos meses quentes pode ser inibida, voltando o problema a, pelo menos, metade da taxa anterior, se as condições de pH voltarem ao normal. Da mesma forma, em pH 13 o problema cessa na primeira semana, voltando a ocorrer com a mesma intensidade em duas semanas se as condições de pH voltarem às anteriores. A manutenção do pH em torno de 13, efetivamente controla o problema, sendo, porém, inaceitável em termos de custo. Por outro lado, aplicações intermitentes de álcalis tornam o processo competitivo com os demais métodos.

As estações que adotaram esse processo estão usando, hoje em dia, soda como agente alcalinizante. Todas elas, via de regra, experimentaram o uso da cal sendo verificado ser mais caro e mais difícil de aplicar.

O County Sanitation Districts of Los Angeles Country já experimentou os dois produtos. A cal foi aplicada a uma taxa de 1 a 4,01 l/s para vazões de esgoto da ordem de 220 l/s tendo conseguido sucesso no controle de odor em tubulações forçadas. Hoje em dia, entretanto, está utilizando a soda pelas razões já explicadas.

Um dado prático que convém salientar é que quando a experiência em laboratório indica uma dosagem em torno de 100 ppm para manter o pH em torno do desejado, é bem provável que no campo se necessitem de 200 ppm ou mais para manutenção dessas condições ao longo de uma tubulação de 1,0 milha, por exemplo.

Convém chamar atenção que esse tipo de tratamento não reduz o conteúdo de sulfetos, mas tão-somente a fração molecular não dissociada de sulfetos.

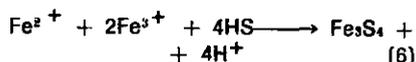
Assim sendo, pode-se ter a jusante do ponto de aplicação a volta das condições anteriores, aparecendo aí, novamente o problema.

No caso do tratamento intermitente, referido acima, trata-se de um "efeito de choque" sendo que o período de aplicação varia de poucos dias a uma semana ou mais, e o intervalo entre esses períodos pode oscilar entre três dias a uma semana, ou mais, dependendo da estação do ano. De qualquer forma, esses números e esquemas operacionais devem ser obtidos da prática por tentativa.

5.1.6. Metais pesados

Certos sais de metais bivalentes e trivalentes podem combinar com os sulfetos formando precipitados insolúveis, reduzindo dessa forma os problemas de odor. Alguns cuidados devem ser tomados, já que alguns sais podem interferir no tratamento biológico.

Para que esse tipo de tratamento seja efetivo, é necessário que o sal formado seja altamente insolúvel, o que acontece com ferro e zinco. O uso de ferro é relativamente barato e pode reduzir as concentrações de sulfetos a 1,0 mg/l. A adição do ferro transforma o sulfeto dissolvido em sulfetos de ferro tais como, Fe_3S_4 , Fe_2S_3 , FeS_4 , FeS e FeS_2 embora nem Fe_3S_4 ou Fe_2S_3 sejam suficientemente insolúveis para diminuir os problemas de odor. Praticamente, têm-se usado tais férricos e ferrosos numa proporção em torno de uma parte de sal ferroso para duas partes de sais férricos.



Esse processo é muito usado em efluentes industriais com altos teores de H_2S , com bastante sucesso.

Quanto ao zinco, este metal pode reduzir a concentração dos sulfetos a praticamente zero. Neste caso ele deve ser dosado a montante da área problema, em locais onde a velocidade seja suficientemente alta para evitar

a precipitação dos insolúveis. Uma regra prática é dosar 2,04 mg/l de zinco para cada mg/l de sulfetos.

Em Los Angeles o método utilizado é a solução preparada a partir de pedaços de zinco metálico, sendo esse método indicado no tratamento de pequenas vazões.

Finalizando, alguns pesquisadores têm estudado a utilização de sais de cobre, levando-se em consideração o efeito bacteriostático desse metal.

5.1.7. Nitratos

O oxigênio quando introduzido no esgoto em forma de nitratos pode satisfazer a demanda bioquímica de oxigênio, preferivelmente em reação aos sulfatos, e dessa forma, reduzir a produção biológica de sulfetos. Havendo disponibilidade de nitratos a um baixo custo, esta pode ser uma solução econômica.

5.2. Agentes mascarantes e neutralizantes

O princípio básico deste método é fundamentado na neutralização ou modificação do odor desagradável, em um outro que seja aceito.

Mascarar é "... nada mais do que sobrepor um odor agradável sobre um odor desagradável..." A efetividade deste método é difícil de se avaliar devido às variações do odor original e das condições atmosféricas e por essa razão não é um método muito utilizado.

Os agentes mascarantes mais utilizados são a heliotropina, vanilina, engenol, acetato benzóico e álcool fenil etílico. São compostos orgânicos aromáticos que se têm mostrado efetivos em aplicações de emergência. Devido ao custo desses compostos, não se indica esse método para aplicações prolongadas.

Por outro lado, neutralização é "... a adição de uma substância odorosa sobre outra, de tal forma que, a mistura resultante tenha pouco ou nenhum odor".

A reodorização é quando a mistura resultante tem um odor agradável, diferindo dos agentes mascarantes pelo fato que nestes últimos o odor resultante é bem forte, enquanto que na reodorização o odor resultante é bastante fraco.

Os principais agentes neutralizantes são fenóis, aurinas, mercaptanas, ácidos graxos orgânicos, aldeídos etc. sendo que a escolha deve ser feita por tentativa.

Antes de se decidir por agente mascarante ou neutralizante, devem ser considerados os seguintes pontos:

- 1) Possibilidade de se mascarar o

odor de substâncias venenosas, podendo ocorrer acidentes.

- 2) Não utilizar esse tipo de procedimento, como substituto de uma boa operação.

- 3) Evitar a formação de odores é mais racional do que eliminá-los depois de formados.

Existem quatro métodos de aplicação de agentes mascarantes ou neutralizantes: aplicação direta, aplicação na forma de **spray**, bombas dosadoras e absorção.

A aplicação direta é a mais simples e neste caso não se usa nenhum equipamento sofisticado. A aplicação em **spray**, talvez seja a mais usada. Pode ser feita por pulverizadores manuais ou estacionários. Quando se usam bombas injetoras, estas devem ser dotadas de dispositivos automáticos de variação da dosagem, em função das oscilações de vazão. Finalmente, absorção envolve problemas de equipamentos exaustores que obrigam o ar a passar por substâncias absorventes.

Um outro aspecto que deve ser considerado é que os odores das substâncias mascarantes podem, a longo prazo, tornarem-se problemas maiores.

5.3. Absorção/arraste

Absorção ou arraste é um dos mais eficientes e econômicos métodos de controle de odor. Os sistemas de arrastes de odor são concebidos de forma e remover as substâncias causadoras de odor presentes num fluxo de ar, dissolvendo-os em um líquido através de combinação química ou absorção. Durante esse processo alguns materiais particulados também são removidos. O líquido que fará o arraste, via de regra, é a água, com um aditivo como permanganato de potássio (KMnO_4), hipoclorito de sódio (NaOCl), hidróxido de sódio (NaOH), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), cloro (Cl_2), dióxido de cloro (ClO_2) ou ozona (O_3). Um importante aspecto a ser considerado quando se usa KMnO_4 é a respeito da recirculação do líquido. Esta prática normalmente viabiliza, economicamente, o processo.

Alguns odores que podem ser removidos por esse processo são H_2S , mercaptanas, dióxido de enxofre (CO_2), amônia e alguns compostos orgânicos. É indicado estudo piloto para verificação do agente químico mais eficiente para cada caso. Se isso não for possível, é conveniente projetar as instalações de tal forma que haja possibilidade de troca dos produtos químicos, de forma a selecioná-los a **posteriori**, bem como a determinação correta da solução. Unidades de arraste de único

estágio são usadas para tratamento de grandes quantidades de ar, contendo baixas concentrações de contaminantes.

É muito importante um adequado tempo de contato entre o gás e o meio, bem como uma perfeita difusão dos gases no meio para haver a absorção e um controle de pH bem feito. Normalmente, usam-se para esse tipo de tratamento torres de absorção, encontradas no mercado, que trabalham, na maioria dos casos, em contracorrente. As torres de dois estágios em contracorrente são indicadas para fluxo de ar contendo altas concentrações de particulados ou altas concentrações de substâncias odorosas. Coletores de pó devem ser colocados na entrada do equipamento em todos os casos.

Numa instalação típica, o fluxo de ar entra pelo topo do equipamento passando através de um leito de material granuloso, o qual é constantemente "irrigado" pela solução líquida, em forma de névoa; após isso o ar limpo é arrastado para a atmosfera através de um exaustor mecânico.

Experimentalmente, tem-se verificado que usando soluções de Cl_2 , KMnO_4 e NaOCl , concentrações de odores em torno de 90 mil unidades de odor/ m^3 . Como exemplo da eficiência desse processo, pode-se esperar as seguintes percentagens de remoção de gases contendo substâncias oxidáveis.

H_2S	98%
Amônia	98%
SO_2	95%
Mercaptanas	90%
Outros compostos oxidáveis	70% a 90%

5.3.1. Absorção/carvão ativado

O carvão ativado exerce não só uma função de absorção, como também catalítica no controle de odores de águas residuárias. O gás sulfídrico e a metil mercaptana são oxidados na superfície do carvão, enquanto que outros compostos orgânicos como os aldeídos e o escatol são fisicamente absorvidos. Enquanto o gás sulfídrico é oxidado a enxofre elementar as mercaptanas são oxidadas a compostos menos odorosos ou a dissulfetos. Enxofre elementar e dissulfetos são retidos pelo carvão.

Entre os fatores físicos que influem na absorção citam-se:

- a) Tipo de absorvente;
- b) Tipo e concentração dos contaminantes;
- c) Pressão;
- d) Temperatura; e
- e) Umidade relativa.

Como regra geral, maior a superfície dos grãos de carvão maior sua capacidade de absorção. No comércio, o carvão ativado é encontrado com áreas superficiais variando entre 1 mil e 1.400 m²/g. A capacidade de absorção aumenta em função da pressão, concentração, peso molecular e ponto de ebulição. Por outro lado, uma diminuição na temperatura de vapor do fluxo aumenta a capacidade de absorção. Alta umidade relativa (superior a 60%) pode reduzir a capacidade de absorver substâncias orgânicas com baixos pontos de ebulição e baixos pesos moleculares. Normalmente a capacidade de absorção do carvão ativado para aplicações específicas somente pode ser determinada por estudos-piloto, muito embora experiências de alguns investigadores possam servir como ponto de partida.

Carvão ativado na presença de umidade age como um catalisador de reações de oxidação, e no caso do H₂S contido num fluxo de ar é oxidado a enxofre elementar. O enxofre é depositado nas paredes dos poros de carvão como resultado da seguinte reação de oxidação:



Pode-se aumentar a taxa da reação acima, impregnando-se o carvão ativado com soda cáustica.

Para maximizar a eficiência do sistema de absorção, é necessário que todo o fluxo de ar contendo substâncias odorosas entre em contato com o carvão ativado. À medida que o carvão se satura, a eficiência da remoção cai, até a completa saturação. Em consequência, dependendo do incômodo que essas substâncias causam, torna-se necessária a monitoração do sistema, através de testes efetuados no local, (análise do teor de H₂S contido no ar efluente do sistema).

Uma grande vantagem desse sistema, é que o carvão ativado pode ser regenerado, facilmente, através da passagem de gás inerte aquecido, ou através da imersão do carvão em soda cáustica. O uso de ar quente para a regeneração deve exceder o ponto de ebulição das substâncias odorantes que estão retidas nos poros do carvão.

Quando se projeta uma instalação de absorção, o engenheiro deve:

1) Determinar o conteúdo orgânico dos gases, a ser absorvido pelo carvão ativado e a unidade presente.

2) Providenciar tempo de contato suficiente entre o carvão ativado —

adsorvente — e o gás que contém substâncias odorosas — normalmente entre 0,3 e 1,4 segundo, dependendo da taxa do fluxo gasoso.

3) Providenciar um leito de carvão com geometria suficiente projeto apropriado.

4) Garantir distribuição uniforme do fluxo do ar através da superfície do carvão ativado.

5) Providenciar meios para a regeneração; e

6) Selecionar o carvão adequado.

Basicamente existem dois tipos de filtro de carvão ativado o filtro de caixa e o leito profundo. O filtro de caixa consiste num quadro com as seguintes dimensões típicas 60 x 60 x 22 cm, contendo 20,4 kg de carvão ativado que é usado para remoção de H₂S de um fluxo de ar a uma vazão de 8,5 m³/min contendo uma concentração de 3,0 ppm com uma eficiência inicial de 90%. Quanto ao leito profundo, tem uma profundidade de 1,0 m e pode remover 100% do H₂S presente, de um fluxo de ar que contém esse gás em concentrações na ordem de 1 a 40 ppm — figura seguinte.

Assumindo-se:

S = 0,165

W = 20.400 g

E = 0,9

R = 8,5 m³/min

C = Concentração de H₂S = 3,0 ppm (4,18 x 10³ μg/m³), então da equação 8, tem-se:

$$t = \frac{(20.400 \times 10^6 \mu\text{g}) \times (0,165)}{(0,9) \times (8,5 \text{ m}^3/\text{min}) \times (4,18 \times 10^3 \text{ mg/m}^3)}$$

portanto, e = 105 mil minutos = 72,9 dias

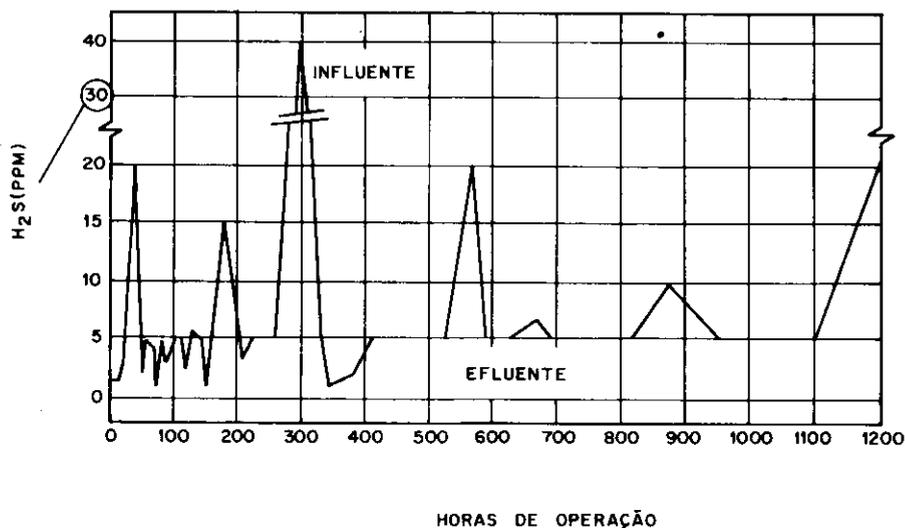
Para filtros de leito profundo, com

S = 0,5

E = 1,0

$$t = \frac{(20.400 \times 10^6 \mu\text{g}) \times (0,5)}{(1,0) \times (8,5 \text{ m}^3/\text{min}) \times (4,18 \times 10^3 \text{ mg/m}^3)}$$

portanto, t = 287 mil minutos = 199 dias.



Remoção de H₂S através de filtros de carvão ativado de 15 cm, contendo carvão de 4 x 10 malha de granulometria, fluxo da ordem de 30 m³/min.

Para se estimar o tempo de vida útil do filtro de fluxo vertical pode-se empregar a equação de Turk:

$$t = \frac{WS}{ERC} \quad \text{onde} \quad (8)$$

t = Vida do filtro, dias

W = Massa de adsorvente, g

S = Proporção máxima de adsorção pelo adsorvente, 0,165 a 0,5

E = Eficiência dos filtros

R = Vazão do ar, m³/min

C = Concentração de odorantes, ppm

O processo do leito profundo apresenta as seguintes vantagens:

- 1 — maior rendimento do carvão
- 2 — maior capacidade em suportar variações de concentração
- 3 — menor frequência de regeneração, devido à maior quantidade de carvão utilizada.

Por outro lado, o investimento inicial e o custo por regeneração são mais altos do que os do filtro de caixa.

O sistema de Hagenstown, Md cuja vazão de esgotos é de 30 mil m³/dia tem obtido bastante sucesso tratando uma vazão de ar da ordem de 110 m³/min através da passagem em 3.200 kg de carvão ativado.

5.4 Incineração e outros processos térmicos

A incineração pode diminuir eficientemente os problemas de odor. Nestes processos são importantes alguns parâmetros como temperatura, tempo de detenção, turbulência e oxigênio requerido para a combustão. Para fins de projeto, a temperatura de combustão e operação depende do tipo de odor a ser oxidado e da porcentagem de remoção necessária. Teoricamente as temperaturas devem situar-se em torno de 750 a 870°C e o tempo de detenção, em torno de 0,3 a 3 segundos. Evidentemente, esses parâmetros podem variar, dependendo do processo de oxidação utilizado. Neste processo é necessária a oxidação completa dos compostos para se evitar a formação de novos compostos. Existem dois métodos utilizados: o da incineração com chama direta e o sistema de combustão catalítica.

No processo da chama direta, o ar contendo gás odoroso é misturado com os gases de combustão e aquecido em torno de 750 a 870°C. A temperaturas inferiores a 750°C o período de detenção deve ser maior do que 3 segundos para se ter remoção de odores.

Quando ao processo de combustão catalítica, pode-se destruir odores a temperaturas inferiores às do processo da chama, geralmente na faixa de 260 a 430°C. Uma limitação deste processo é que a concentração dos gases odorosos tem que ser pelo menos 1 mil a 1.500 ppm para o processo ser efetivo.

Os catalisadores utilizados normalmente são platina ou paládio, finamente divididos impregnando um suporte de cerâmica, embora outros materiais como níquel, cobre, cromo e manganês também sejam usados. A vida útil dos catalisadores é de pelo menos 23 mil horas de serviço. Os seguintes fatores podem prejudicar o processo:

1 — a presença de venenos de catalisadores, como zinco, mercúrio e chumbo no ar;

2 — obstrução da superfície dos catalisadores através de depósitos de materiais provenientes de combustão incompleta dos contaminantes, ou pela aderência mecânica de material particulado; e

3 — perda mecânica de catalisador, por abrasão.

As vantagens do processo da chama sobre o catalítico são: baixo custo de manutenção e maior eficiência na remoção de combustível, construção mais leve e melhor remoção de material particulado e aerossóis.

5.5. Precipitadores eletrostáticos

Odores associados a materiais particulados, aerossóis ou névoas podem

ser reduzidos por precipitadores eletrostáticos (ESPs). Este processo depende das partículas a serem atraídas por uma superfície que funciona como um eletrodo com polaridade oposta. Embora esses equipamentos tenham alta eficiência, custam muito caro. Eles são efetivos também na remoção de alguns odores de esgoto como indol, escatol e H₂S. Uma vantagem dos ESPs é que eles são capazes de remover partículas extremamente pequenas.

Existem dois tipos de precipitadores eletrostáticos: simples estágio, no qual ionização e captura são combinadas; e de dois estágios onde a ionização e a captura são feitas em compartimentos independentes.

Os precipitadores de simples estágio são geralmente utilizados para remoção de odores produzidos por poeiras ou névoas provenientes de operações industriais.

A energia necessária é dada normalmente em joules por metro cúbico de gás a ser tratado. Eficiências típicas podem ser esperadas na ordem de 90,97 e 99,5% para consumos de energia da ordem de 106, 530 e 1.600 j/m³, respectivamente.

Quanto aos equipamentos de duplo estágio, pode-se esperar eficiências da ordem de 85% a 90%.

5.6. Condensação

A condensação, isoladamente, é raramente utilizada no controle de odores porque a redução de odores associada a ela geralmente é muito baixa para justificar seu uso, embora seja mais utilizada quando associada a outros processos como a incineração ou arraste químico.

Geralmente dois tipos de condensadores são usados — condensadores de contato e de superfície. Ambos são utilizados, embora a maior eficiência na remoção de odor é conseguida por condensadores de contato devido à ação de arraste associada à ação da ebulição e devido a uma maior diluição do líquido.

Comparativamente aos condensadores de superfície, os de contato são mais flexíveis, menos problemáticos em termos de manutenção e mais fáceis de operar. Embora o custo do equipamento de contato seja menor, seu custo operacional é maior. Por outro lado, condensadores de contato requerem muito mais água, do que os de superfície, porque neste último a água é reciclada, o que não acontece com o primeiro, fornecendo-se a disposição final destas águas um problema a ser resolvido.

Condensadores de contato reduzem 99% de odores, ou mais, enquanto que nas mesmas condições os condensadores de superfície reduzem 50%.

5.7. Dispersão/diluição

A dispersão atmosférica, bem como o transporte e a difusão dos odores na atmosfera dependem fundamentalmente dos ventos e sua turbulência. A topografia do terreno também é importante. As características naturais e artificiais da paisagem local também têm sua influência. Existem modelos matemáticos correlacionando todos esses fatores.

As vezes usa-se misturar gases inodoros para se diluir e, às vezes, também, são usados sistemas mecânicos de introdução de ar fresco e exaustão dos gases odorosos, diluídos.

Todos esses estudos devem ser analisados matematicamente. As expressões matemáticas desenvolvidas para pluma podem ser usadas com cautela. A dispersão atmosférica dos gases, pura e simplesmente, nunca é usada isoladamente.

Uma estimativa da dispersão de 200 g/h de H₂S através de uma chaminé de 10 m de altura pode ser calculada da seguinte forma:

$$C = \frac{Q}{\pi \mu C_g C_z} \left(\exp \frac{-H^2}{2C_z^2} \right) \quad (8)$$

μ = Velocidade do vento, 4,5
 Q = Fluxo do gás, 200 g/h (5,55 x 10⁴ μ g/s)

H = Altura da chaminé, 10 m

C_g = Desvio-padrão horizontalmente, 1 mil m a jusante

C_z = Desvio padrão verticalmente, 120 m

Da equação (8), tem-se

$$C = \frac{5,555 \times 10^4}{3,14 (4,5) (160) (120)} \exp \frac{-1 (10)^2}{2 (120)^2}$$

$$C = 0,204 \mu \text{ g/m}^3$$

Mas, desde que a massa molecular do H₂S = 34,1 g/mol, e 0,042 moles/l é o equivalente molar a 760 mm a 15°C, então:

$$C = (0,204 \times 10^{-6} \text{ g/m}^3) / (34,1 \text{ g/mol}) \times (0,042 \text{ moles/l})$$

$$C = 0,15 \times 10^{-6} \text{ l/m}^3$$

$$C = 0,00015 \text{ ppm}$$

Esta é uma estimativa da concentração ao nível do solo, e é inferior ao valor limite normal para H₂S (0,00047 ppm). Pode-se concluir que é insupportável que se consiga detectar a presença de H₂S a 1 mil m a jusante da chaminé (nas condições acima) num pon-

to acima do solo. Entretanto a reação do público não se refere à media, mas sim a valores de pico. Uma regra prática indica que a concentração, a nível do solo, não deve exceder 30 vezes o valor limite de percepção. No exemplo acima como o valor calculado é cerca de 1/3 do limiar de percepção, pode-se esperar reclamações do público.

5.8. Filtração

Filtros de terra têm sido usados para remover odores presentes nos gases oriundos de estações elevatórias de esgoto e sistemas exaustores de esgoto. Pomeroy em 1954 escreveu um trabalho a respeito de testes que efetuou em laboratório usando filtros de terra. Mais tarde realizou testes de campo em Long Beach, Califórnia, com bons resultados. Após essas experiências um número bastante grande de filtros de terra foi instalado em estações elevatórias com bons resultados.

Esse tipo de filtro pode remover praticamente todo composto polar como H_2S e metil mercaptano. O metano, embora seja inodoro, é explosivo e pode causar intoxicação e não é removido normalmente. Troca iônica, reações químicas e absorção auxiliam a remoção de substâncias odorosas das degradações biológicas. Para melhorar os resultados o filtro deve ser mantido úmido.

Por outro lado, filtros biológicos utilizando meios plásticos têm sido usados no sentido de degradar substâncias odorosas orgânicas em estações de tratamento de esgotos. Se utilizado exclusivamente para controle de odor, o filtro deve ser localizado depois do tratamento secundário ou terciário. A taxa de aplicação normalmente situa-se entre 0,5 e 1,4 $l/m^2.s$ e esgoto com carga orgânica em torno de 4,9 kg de DBO₅/m² de meio x dia. A área superficial do meio plástico varia de 100 a 220 m^2/m^3 com tempo de detenção para o ar, em tiragem forçada, cerca de 5 a 25 segundos.

5.9. Enclausuramento

Um método que se tem desenvolvido bastante é o do enclausuramento. Consiste em cobrir canais e tanques para evitar o escapamento de gases odorosos.

O sistema de tratamento de esgotos de Sacramento, Califórnia, tem coberturas de fiberglass nos dez decantadores primários e sobre dois filtros biológicos. Os gases exauridos desses tanques são tratados em 10 l de carvão ativado de 1,5 x 6,0 x 0,9 m contendo 4.100 kg de carvão.

A cidade de Omaha, Nebraska, tem três instalações com um total de 22 domos cobrindo as unidades de trata-

mento. O ar coletado deve ser tratado antes de sua descarga na atmosfera.

As coberturas devem ser projetadas de forma a prevenir problemas de condensação e problemas decorrentes de ventos, gelo, neve etc. Normalmente é mantida sob as coberturas, pressão negativa para prevenir escape de gases.

5.10. Controle de odor na operação

5.10.1. Limpeza de tubulações de esgoto e desentupimento

Os materiais sólidos contidos no esgoto geralmente se acumulam nas protuberâncias das paredes, nas curvas etc. Esses materiais criam condições favoráveis para desenvolvimento e liberação de gás sulfídrico. Com o advento dos anéis de borracha para juntas, esse acúmulo de material precipitado diminuiu bastante, se comparado com as juntas antigas que eram irregulares e malfeitas.

É necessário desenvolver pesquisas no sentido de se determinar para cada tipo de tubulação de esgoto, o intervalo de tempo necessário entre duas limpezas sucessivas. Normalmente este intervalo de tempo pode variar bastante, desde poucas semanas, até meses.

É melhor manter uma equipe especialmente treinada para isso, evitando

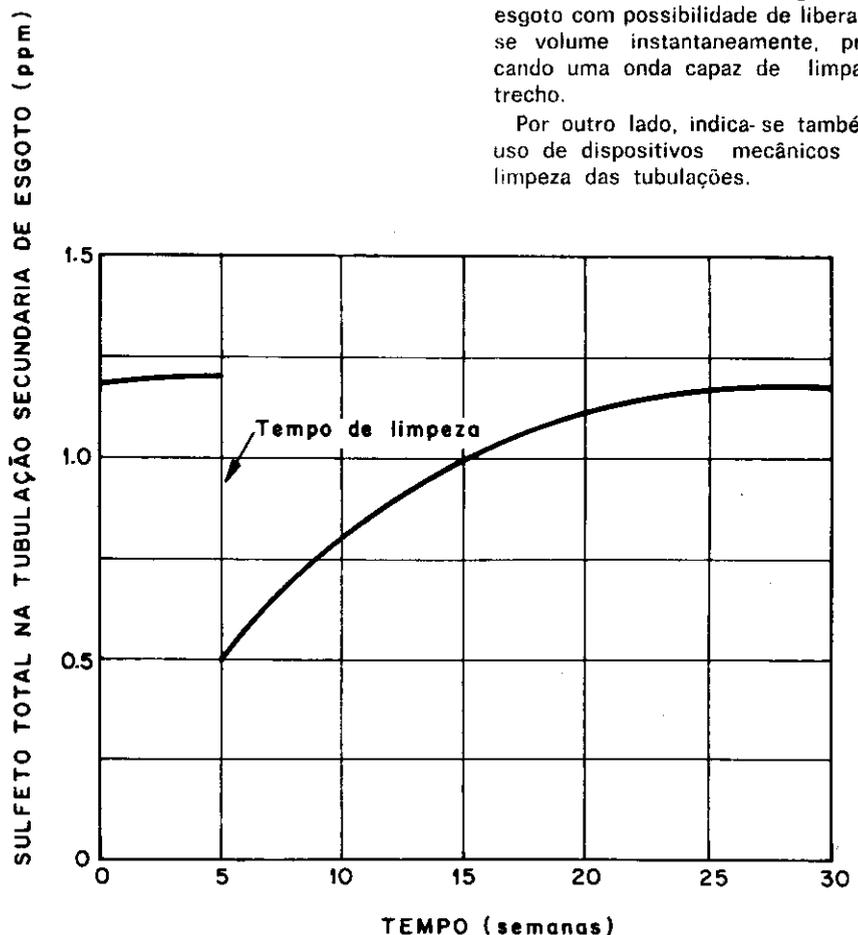
assim problemas de entupimento e diminuição da capacidade das tubulações. Isto envolve limpezas periódicas, particularmente de trechos onde as vazões são menores que aquelas de projeto.

Numa pesquisa feita no Australian Sewerage Authority, verificou-se que os problemas decorrentes da formação de H_2S eram devidos à formação desse gás nos trechos da rede onde o número de ligações era bastante pequeno, em relação aos parâmetros de projeto, o que vale dizer que as vazões eram pequenas ocorrendo depósito de materiais em suspensão ao longo das tubulações. Assim sendo foi levada a efeito limpeza periódica desses trechos, obtendo-se o gráfico abaixo.

A remoção de sujeira pode ser feita por lavagem com água ou então através de equipamentos próprios para esse fim. A eficiência e custo dependem, evidentemente, das condições locais.

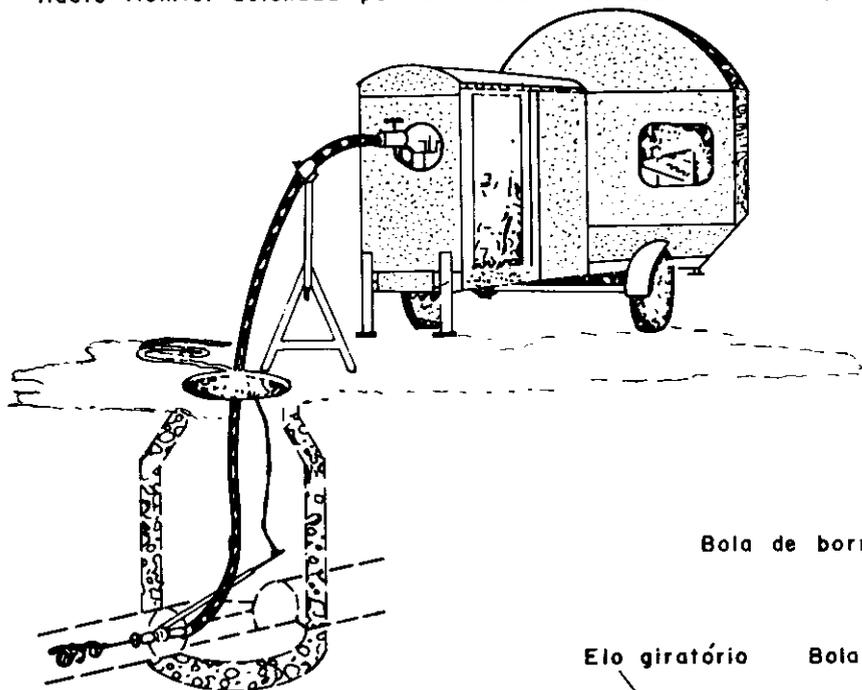
Para a lavagem, normalmente se utiliza de água da rede distribuidora, através dos hidrantes, ou então, caminhões-tanque, ou o próprio esgoto mediante o uso de "penstocks" colocados quando da construção do sistema de esgoto. Consiste na utilização de uma tubulação adicional, especialmente projetada de forma a armazenar um volume razoavelmente grande de esgoto com possibilidade de liberar esse volume instantaneamente, provocando uma onda capaz de limpar o trecho.

Por outro lado, indica-se também o uso de dispositivos mecânicos para limpeza das tubulações.

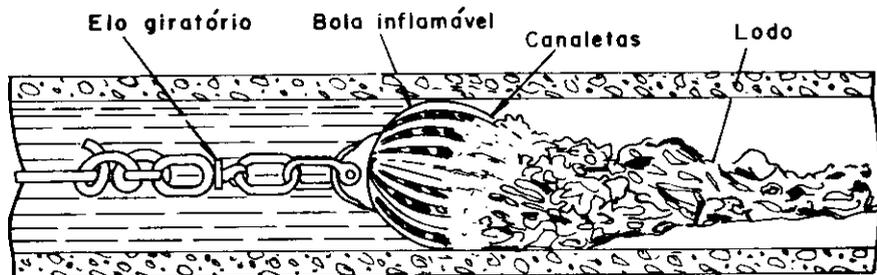


Efeito da depuração do esgoto na formação do sulfeto.

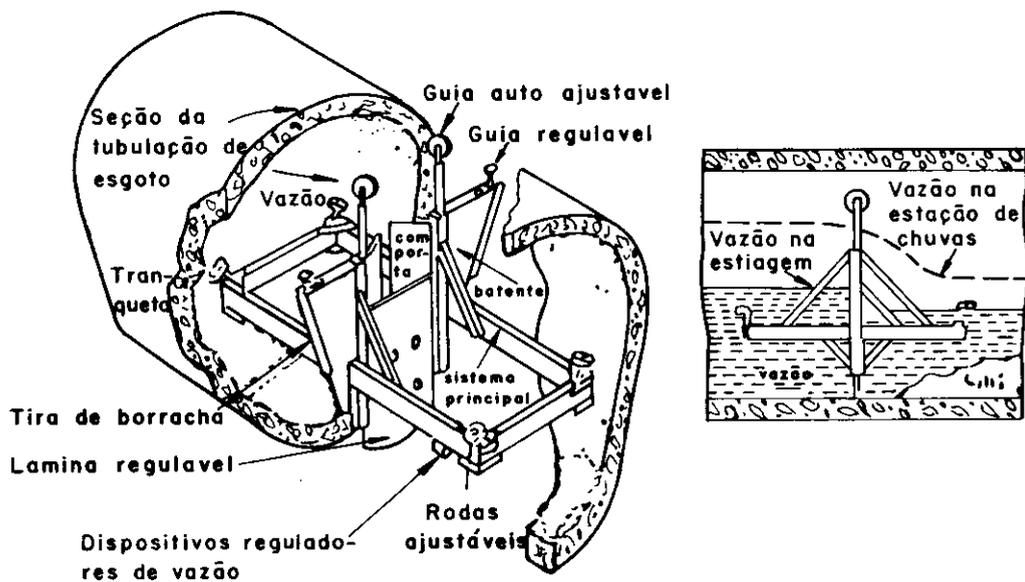
Haste flexível acionada por um motor montado num reboque



Bola de borracha tracionada por cabo



Raspadores arrastados pelo fluxo líquido



Limpeza de poços de sucção: Especial atenção deve ser dada à limpeza dos poços de sucção. Para isso inspeções periódicas devem ser programadas rotineiramente.

5.10.2. Operação das unidades de tratamento

Uma das coisas que pode ser feita pela operação é tomar medidas para que o tempo de retenção nas várias unidades seja o mínimo possível. Outra coisa seria a manutenção das paredes de elevatórias, caixas etc., o mais limpo possível. Uma outra forma seria agir nos processos de tratamento de esgotos industriais. Finalmente o operador — quando possível — pode agir sobre a velocidade do fluxo de esgotos.

Quanto a este último item Pomeroy e Bowlus, em 1946, estudando a influência da formação de sulfetos nos esgotos chegaram à conclusão que existe uma velocidade acima da qual não se verifica a formação de sulfetos. E a velocidade é dada pela relação abaixo:

$$V = 0,137 (DBO \text{ efetiva})^{0,496}$$

onde DBO efetiva é definida como (DBO medida) $(1,07^{t-20})$ sendo t a temperatura do esgoto em °C. Os autores alertaram para o fato de que a relação acima não era válida para todas as condições, mesmo porque o DBO, isoladamente, não era uma medida adequada da intensidade de produção de sulfetos pelo esgoto.

Posteriormente, Davy, reestudando as propostas de Pomeroy e Bowlus, através de vários experimentos efetuados no sistema coletor de Melbourne (Austrália), levou em consideração outros parâmetros, além do DBO.

Teoricamente os sulfetos gerados são parcial ou inteiramente oxidados pelo oxigênio, que é absorvido pela superfície livre do esgoto; logo, os fatores importantes que influem nesse processo aparecem na interface esgoto-ar.

Apesar de concordar com Pomeroy e Bowlus no fato de que a DBO não era, isoladamente, um parâmetro que expressasse inteiramente a intensidade de produção dos sulfetos, Davy não tentou substituir a DBO por outro parâmetro, assumindo a existência de uma proporcionalidade entre a DBO e um outro parâmetro qualquer, reconhecendo que isso não é sempre verdadeiro, particularmente para certos tipos de efluentes industriais e linhas pressurizadas.

Apesar disso o parâmetro DBO efetiva foi separado em duas parcelas: DBO e $f(T)$, pelo fato de que a influên-

cia da temperatura na DBO ainda deveria ser pesquisada melhor.

Verificou-se que a taxa de absorção de gás formado era função do número de Reynolds — Nr — do fluxo, embora outros parâmetros menos importantes também influíssem.

Estudando o problema praticamente no sistema coletor de Melbourne, Austrália, Davy chegou à seguinte relação:

$$Nr = 5.700 \frac{A}{b} (DBO) f(T)^{0,89}$$

onde

A = área da seção molhada (ft²)

b = largura da superfície livre (ft)

$f(T)$ = fator que corresponde à influência de temperatura na DBO = $1,07^{(t-20)}$

DBO = demanda bioquímica de oxigênio.

Por esse estudo, o autor sugere um valor para o Nr , acima do qual não se verifica a formação de sulfetos, para um dado valor de DBO.

CONCLUSÕES

Acreditamos que o problema de odor esteja apenas emergindo. Na verdade, uma vez que as comunidades cada vez mais se mostram dispostas a participar da solução dos problemas que as afetam, pode-se esperar que as reclamações contra maus odores tendam a aumentar substancialmente.

Por este motivo o engenheiro sanitário ambiental ou em saúde pública deve estar preparado para enfrentar o problema. Para tanto, achamos que alguns aspectos, apresentados neste trabalho, são de fundamental importância, devendo o profissional estar atento para o seguinte:

— uma vez que certos odores podem causar fadiga do sistema olfativo, de forma a reduzir a percepção dos mesmos, o engenheiro precisa estar

consciente de que ele não é o melhor juiz a respeito da existência de maus odores;

— os odores são, via de regra, impressos psicologicamente, de sorte que o engenheiro deve esperar que a discussão ocorra em um clima emocional, preparando-se para tanto;

— o engenheiro deve saber que o seu melhor equipamento analítico não se compara ao nariz das pessoas da comunidade;

— deve-se considerar os eventuais problemas de odor por ocasião do planejamento de unidades de tratamento, de sorte a prevenir incômodos futuros;

— a solução de problemas de odor deve, imprescindivelmente, envolver a comunidade.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. DAGUE, R. R. Fundamentals of odor control. *Journal WPCF*, 44(4): 583-594, abril 1972.
2. DAVY, W. J. Influence of velocity on sulfide generation in sewers. *Sewage and Industrial Wastes*, 22(9):1132-1137, september 1950.
3. LUDWIG, R. G. & SA de ALMEIDA, S.A. Controle da corrosão por sulfetos no projeto de interceptadores de esgoto. São Paulo, Encibra, (s.d.)
4. POMEROY, R. & BOWLUS, F. D. Progress report on sulfide control research. *Sewage Works*, 18(4): 597-640, july 1946.
5. STONE, R. et alii. Wastewater pumping station designed to avoid odor problems. *Public Works*: 44-45, jan. 1975.
6. THISTLETHWAYTE, D. K. B. The control of sulphides in sewerage systems. Sidney, Austrália, Butterworths, 1972.
7. WPCF. Chlorination of wastewater. Manual of practice n.º 4. Washington, D. C., 1976.
8. WPCF. Odor control for wastewater facilities. Manual of practice n.º 22. Lancaster, Pa., Lancaster Press, 1979.

Conversão de Unidades

Multiplique	Por	Para obter
gph (gallons per hour)	3,828	l/s
gpd (gallons per day)	91,872	l/s
cfm (c.ft. per minute)	4,719 x 10 ⁻¹	l/s
cfh (c.ft. per hour)	28,314	l/s
polegada (")	2,54	cm
pé (')	0,305	m