

# TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES EN AMERICA LATINA

## Serie de Conferencias organizadas por:

- Instituto de Ingeniería (UNAM)
- Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM)
- Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI-Guatemala)
- Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa (UAM-I)
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE)
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

## Con el patrocinio y apoyo de:

- Organización Panamericana de la Salud (OPS)
- Organización de Estados Americanos (OEA)
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)
- Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)
- Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar (GEPLACEA)
- Centro Científico y Técnico de la Embajada Francesa (CST)
- Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C. (SMISA)
- Asociación Internacional de Control e Investigación sobre la Contaminación del Agua (IAWPRC)
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA)

*México,* Ciudad Universitaria, D.F., 8 y 9 de Noviembre de 1990.

COMITE ORGANIZADOR

ADALBERTO NOYOLA  
JEAN-PIERRE GUYOT  
JOSE FRANCISCO CALZADA  
ENRIQUE ORTIZ

TALLER REGIONAL Y CONFERENCIA SOBRE TRATAMIENTO ANAERÓBIO  
DE AGUAS RESIDUALES EN AMERICA LATINA - 1990

PROJETO E OPERAÇÃO DE FILTROS ANAERÓBIOS PARA  
TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS

José Roberto Campos\*

1. INTRODUÇÃO

Durante os últimos vinte anos, verificou-se uma verdadeira revolução nos conceitos concernentes com o tratamento de águas residuárias.

Nesse período, além de se ampliar e valorizar a aplicabilidade do processo anaeróbio, também foi aumentado significativamente o número de alternativas para a concepção física das unidades para as conversões biológicas.

Os pesquisadores e os profissionais da área aprenderam a trabalhar em equipe e deixaram de supervalorizar as partes puramente civil e eletromecânica das estações de tratamento.

A consciencia atual coloca em destaque a importância da multidisciplinariedade do assunto e envolve elementos de biologia, microbiologia, bioquímica, engenharias, economia, política e sociologia.

As unidades já não são vistas como simples tanques, em concreto, em chapa metálica, etc. Hoje essas unidades são estudadas como reatores em que ocorrem transformações complexas, com a imprescindível participação de organismos.

Há que se tentar a otimização da construção, da opera-

---

\* Professor Associado do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo - EESC/USP.

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 - CEP: 13560 - São Carlos - SP - Brasil  
Tel. (0162) 71-2213  
Telex: 162411 USPO BR  
FAX : (0162) 71-9241

0814327

SYSNO	0814327
PROD	0001366
ACERVO EESC	

ção e da manutenção do reator (custos), fundamentada na otimização do processo biológico.

Ao lado da descoberta do processo de lodos ativados (aeróbio) em 1914 [13], talvez a maior contribuição à evolução dos processos biológicos para tratamento de águas residuárias seja devida ao aprendizado crescente de técnicas de imobilização de bactérias, quer na forma de grânulos, flocos ou agregados de bactérias livres, quer na forma de biofilme aderido a suportes inertes.

O filtro biológico aeróbio, empregado pela primeira vez em 1893, foi o primeiro reator de filme fixo utilizado em larga escala para tratamento de águas residuárias, e que, com o passar dos anos, foi a base conceitual para a criação de sistema mecanizado, denominado comumente de bio-disco rotativo ("rotating bio-disc").

Na realidade, tanto o sistema de lodos ativados como aqueles que exploram a imobilização de bactérias, fundamentam-se no mesmo princípio de se procurar impor tempo médio de retenção de microrganismos ativos no interior do reator suficientemente grande para se explorar ao máximo possível sua potencialidade natural. Além disso, dentro das limitações físicas e biológicas de cada sistema, também procura-se obter a maior concentração admissível de microrganismos ativos.

A associação desses dois objetivos constitui meta muito importante na busca da otimização do processo desenvolvido em um reator.

No que concerne ao processo anaeróbio, sabe-se que até a década de sessenta essa alternativa foi aplicada basicamente no tratamento de despejos com elevada concentração de sólidos. A evolução acelerada dos conhecimentos e do emprego de reatores anaeróbios não convencionais para o tratamento de despejos solúveis de baixas concentrações é devida em grande parte à contribuição inicial oriunda de trabalhos dos pesquisadores Young e McCarty [12] [22] [24] e [25].

Os novos reatores foram concebidos fundamentalmente com base no melhor conhecimento dos processos anaeróbios e, principalmente, na verificação da viabilidade de se dispor de diferentes maneiras para se conseguir tempos de retenção celular sensivelmente superiores aos tempos de detenção hidráulicos nas uni-



dades de tratamento anaeróbio.

O aumento do tempo de retenção celular em relação ao tempo de detenção hidráulico nos reatores anaeróbios não convencionais tem sido conseguido através da construção de reatores cuja concepção e operação apoiam-se nos conceitos que são descritos sucintamente a seguir [ 11 ].

- a) Retenção de microrganismos nos interstícios existentes em leito de pedra ou de outro material suporte adequado que constitui parte de um reator anaeróbio com fluxo ascendente ou descendente. Nesse caso são incluídos os filtros anaeróbios, nos quais tem sido constatado que apesar de ocorrer a aderência de filme biológico ao meio suporte, a parcela mais significativa de microrganismos encontra-se nos interstícios do leito.
- b) Produção de uma região no reator com elevada concentração de microrganismos ativos que, obrigatoriamente, é atravessada (e misturada) pelo fluxo ascendente dos despejos a serem tratados. Esse princípio é explorado nos reatores de manta de lodo ("Upflow anaerobic sludge blanket" - UASB) e nos reatores anaeróbios com chicanas, que, em essência, tratam-se de uma modificação do reator UASB.
- c) Imobilização de microrganismos através de sua aderência a superfícies fixas ou a superfícies de material particulado móvel. Os reatores de leito expandido ou fluidificado fundamentam-se essencialmente nesse princípio, tendo-se em vista que a grande parcela de microrganismos ativos encontra-se aderida às partículas que constituem p seu leito.

Entre as propostas e concepções mais recentes de reatores anaeróbios, têm sido estudados com maior intensidade os filtros anaeróbios, os reatores de fluxo ascendente com manta de lodo, os reatores com chicanas e os reatores de leito fluidificado ou expandido.

Em essência, o presente texto versará sobre o reator de nominado filtro anaeróbio, apresentando uma pequena base conceitual sobre o tema, porém, abordando com maior ênfase dados práticos sobre projeto, operação e aplicabilidade desse tipo de unidade.

É importantíssimo mencionar que, apesar do grande número de pesquisas e de estudos sobre sistemas em operação, ainda resta muito a se aprender sobre esse tipo de reator. Isso faz com que as diretrizes e sugestões aceitas até o presente, provavelmente sofrerão refinamentos futuros no sentido de mais se aproximarem das condições ideais de funcionamento de filtros anaeróbios.

## 2. CONCEITUAÇÃO DE FILTROS ANAERÓBIOS

Reatores biológicos com recheio são unidades que dispõem de meio suporte, constituído por materiais, peças ou acessórios geralmente inertes, em cuja superfície ocorrem a fixação e o desenvolvimento de biofilme e em cujos interstícios também proliferam microrganismos que podem se agrupar nas mais diferentes maneiras.

Quando o meio suporte não se movimenta o reator é denominado de leito fixo, e quando esse meio é constituído por material granular submetido a fluxo ascendente, emprega-se a denominação de reator de leito expandido ou fluidificado, dependendo das condições de equilíbrio dinâmico das partículas que constituem o leito.

Em qualquer um dos tipos de reator de filme fixo mencionados é possível o desenvolvimento dos processos aeróbio, anaeróbio e anóxico, dependendo apenas das condições de controle do sistema.

As denominações mais comuns para os tipos usuais de reatores com recheio são: filtro aeróbio, filtro anaeróbio, "bio-disco", reator de leito expandido e reator de leito fluidificado.

O vocábulo "filtro", apesar de muito usado no meio técnico e científico, não representa a realidade, pois tanto o filtro aeróbio como o anaeróbio, não efetuam a filtração segundo seu significado específico.

Na realidade, os filtros anaeróbios são reatores de leito fixo, que além de possuírem biofilme aderido ao material suporte, também possuem considerável quantidade de agregados e flocos com bactérias, e até grânulos, que permanecem nos interstícios através dos quais ocorre o escoamento do líquido.

Nesse tipo de reator podem ser empregados os mais diferentes materiais para constituição do recheio, tais como pedras, peças cerâmicas, peças em material sintético (anéis, etc), peças em madeira, módulos tubulares, etc., e até, em casos especiais, pode-se pensar em usar materiais flutuantes.

Até o presente tem-se empregado apenas filtros anaeróbios com leito submerso, porém, o sentido de fluxo pode ser ascendente ou descendente. Assim sendo, uma denominação precisa para o filtro anaeróbio seria: reator anaeróbio de leito fixo submerso com fluxo descendente (ou ascendente).

O filtro anaeróbio é um reator no qual a matéria orgânica é estabilizada através da ação de microrganismos que ficam retidos nos interstícios (parcela mais importante) ou aderidos ao material suporte que constitui o leito através do qual os despejos líquidos escoam.

As maiores taxas de remoção de substrato ocorrem nos níveis mais baixos do leito (quando o fluxo é ascendente), sendo que nessa região existem grandes concentrações de substrato e de sólidos biológicos.

Sólidos biológicos que se formam nas camadas mais profundas do leito são mantidos em suspensão, na forma de flocos ou grânulos, e podem apresentar elevada capacidade de degradação dos mais diferentes substratos. Filtros biológicos em boas condições de funcionamento podem apresentar eficiência elevada de remoção de DQO e não exigem unidade de decantação complementar, pois nesses casos o teor de sólidos no efluente é bastante baixo e o resíduo arrastado pela água apresenta aspecto semelhante ao de pequenas partículas de carvão suspensas em líquido bastante clarificado, para maioria dos despejos líquidos.

O interesse pelo filtro anaeróbio deve-se, em princípio à publicação de Young e McCarty, em 1968 [24], elaborada com base em dados de pesquisa realizada a partir de 1963, na qual são mostrados resultados obtidos na operação desse tipo de reator alimentado com despejos líquido sintético, verificando-se eficiência na remoção de DBO superior a 80% para tempos de detenção hidráulicos inferiores a 24 h. Deve ser lembrado, contudo, que, historicamente, essa publicação foi precedida por trabalhos de Coulter, Saneda e Ettinger (1957), Winnenberger e Saad (1961) e Stander (1963), que despertaram menor interesse na época.

Essas pesquisas demonstraram que o filtro anaeróbio pos sui boas condições, inclusive para tratar despejos solúveis com concentrações relativamente baixas.

### 3. CONFIGURAÇÃO DE FILTROS ANAERÓBIOS E DISPOSITIVOS DE ENTRADA E DE SAÍDA

#### 3.1 - Configuração

A maior parte dos filtros anaeróbios de médio e grande porte é constituída de unidades retangulares ou quadradas; porém, em muitos casos também pode-se adotar com facilidade unidades circulares.

A altura total das unidades pode variar na faixa de 3m até 13 m quando se usam recheios comerciais [ 23] embora para recheios com pedras, essa faixa de altura seja superior à desejável, por restrições estruturais e funcionais.

Na opinião do autor do presente texto, quando se optar pelo emprego de pedras, a altura do leito pode ser adotada na faixa de 0,80 a 2,0 m.

Para recheio podem ser empregados diferentes materiais, alguns dos quais mostrados na Figura 3.1. Quando se empregar pedras, é recomendado que seu tamanho esteja na faixa de 5 a 8 cm. Tamanhos menores devem ser descartados, pois podem surgir sérios problemas decorrentes da rápida colmatação do leito.

Esferas perfuradas, embora algumas vezes mencionadas por projetistas, devem ser evitadas, pois os vazios internos rapidamente são ocupados por material retido, perdendo-se assim o desejado efeito original.

Em países como os U.S.A., prevalece o uso de módulos e de anéis [ 23], porém, em países em desenvolvimento, o uso de pedras pode ser mais econômico, apesar do grande volume útil perdido (cerca de 50%) pela sua inclusão no reator. No Brasil, por exemplo, o uso de pedra é muito mais vantajoso economicamente do que o uso de recheios com material sintético.

Young e outros autores [ 23] concluíram que é muito mais importante para o projeto, o efeito de tamanho dos interstícios e da disposição e forma do material de recheio, do que o valor de sua superfície específica.

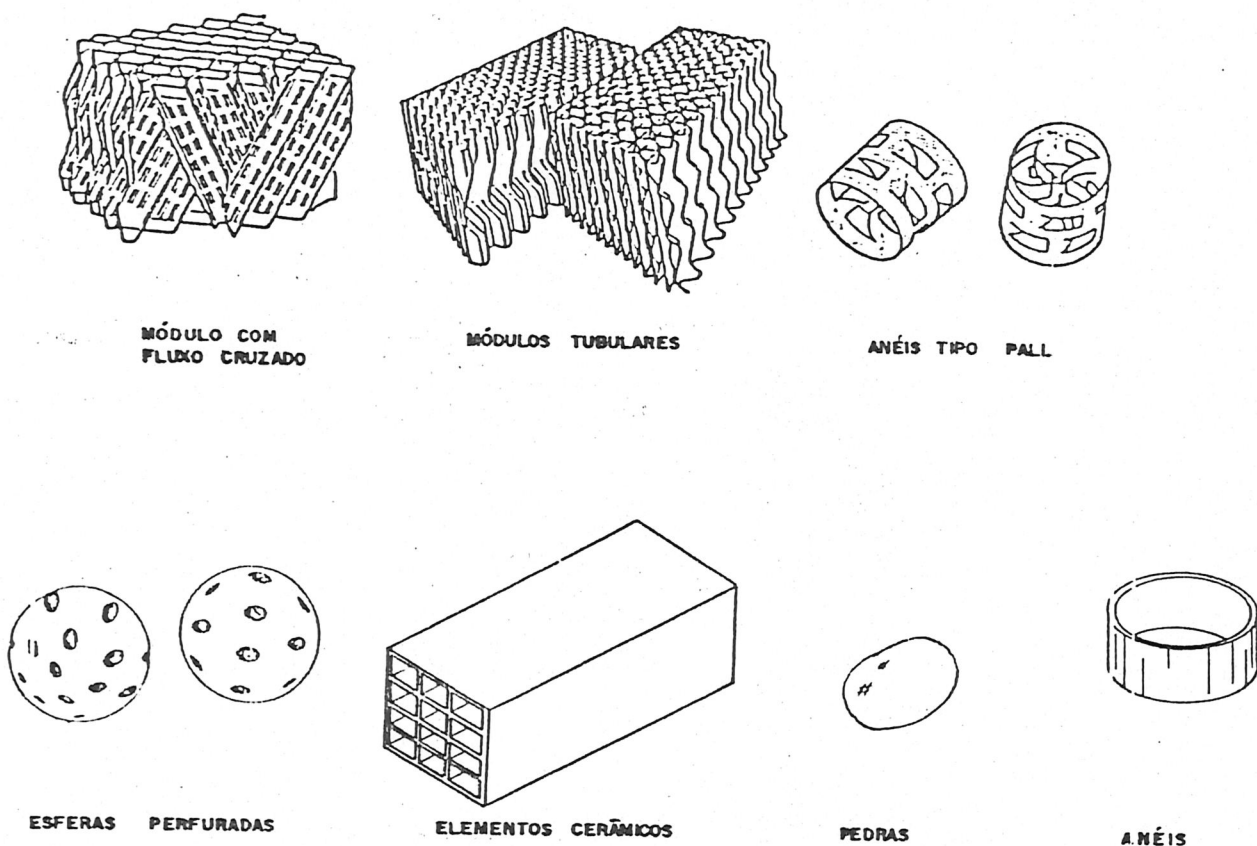


FIGURA 3.1 - Alguns exemplos de meio suporte.

Os reatores podem ser ocupados totalmente pelo recheio (nesse caso deve-se tomar cuidado redobrado com a distribuição de vazão) ou possuírem uma região inferior livre, na qual se prevê a formação de flocos, grânulos ou aglomerados que permane<sup>cem</sup> em suspensão.

Além disso, podem ser efetuadas construções de unidades em série, conforme recomendado por Young [23], quando a DQO do afluente é relativamente elevada. Quando se usam unidades em série sua operação adquire maior flexibilidade, pois o sentido do fluxo pode ser invertido, de modo que ambas as unidades funcionam alternadamente, ora com fluxo ascendente, ora com fluxo descendente.

Na Figura 3.2 são mostradas esquematicamente duas concepções distintas de filtro anaeróbico de fluxo ascendente. Uma delas com o leito ocupando a quase totalidade do volume do reator, e outra, mostrando uma unidade com uma região livre e uma

região com recheio, caracterizando um reator híbrido em que em sua parte superior existe o suporte, que auxilia a separação gás-sólidos, entre outras funções; e, em sua região inferior prevalece a ocorrência de lodo granulado ou na forma de flocos ou ainda, como agregados em suspensão.

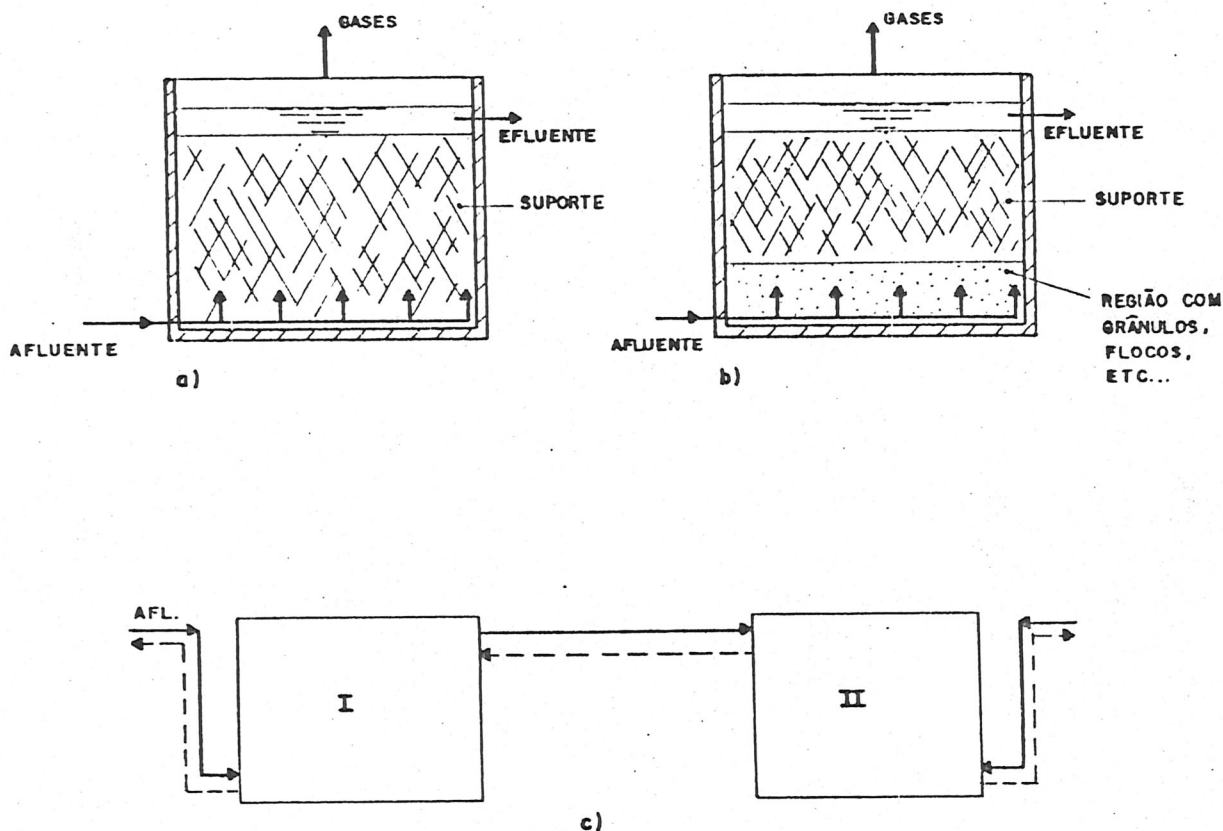


FIGURA 3.2 - Configurações de filtros anaeróbios. a) reator com recheio; b) reator com recheio e zona inferior livre; c) reator em série, com sentido de fluxo reversível [ 23].

Além dos meios suportes já descritos, existem tentativas em escala de laboratório para uso de soluções alternativas mais ousadas. Oh e Yang [ 14], por exemplo, realizaram pesquisa empregando anéis de polipropileno flutuantes como meio suporte em um reator anaeróbio. Seus resultados foram muito interessantes e ressaltam mais um campo promissor para ser estudado para avaliar suas reais potencialidades práticas.



### 3.2 - Sistema de distribuição de vazão

A distribuição de vazão nos filtros anaeróbios é uma das partes mais delicadas de seu projeto. É evidente que quanto melhor a distribuição da vazão através do leito, menor será o volume perdido em decorrência de espaços mortos.

A alimentação desse tipo de reator pode ser efetuada por recalque ou por gravidade.

Quando se opta pelo primeiro caso, o dimensionamento hidráulico das canalizações geralmente pode ser feito com maior facilidade, adotando-se critérios usuais para dimensionamento de sistemas do tipo "manifold" e laterais. Nessa situação recomenda-se que a soma das áreas das aberturas de cada canalização seja menor que a metade da área da seção da canalização em questão. A adoção desse critério prático atenua os erros e discrepâncias que ocorrem entre as vazões que passam por todos os furos de um mesmo conduto.

Por outro lado, é muito difícil, ou quase impossível, atender-se simultaneamente os requisitos hidráulicos e os decorrentes da própria natureza das águas residuárias, que sempre possuem impurezas que podem provocar incrustações ou deposições no interior dos dutos, alterando completamente as hipóteses dos cálculos hidráulicos.

Os orifícios devem ser suficientemente grandes para reduzir possibilidades de entupimento e suficientemente pequenos para impor perda de carga razoável para se ter o bom funcionamento do sistema de distribuição. Sugere-se, como ponto de partida para dimensionamento, velocidades superiores a 1 m/s, e diâmetro de orifícios menores que 2,0 cm.

Na Figura 3.3 apresenta-se esquematicamente sugestão para a distribuição de vazão através de bombeamento. O espaçamento entre furos deve ser o menor possível: caso se tenha reator sem fundo falso sugere-se espaçamento entre furos sempre menor que 1,0 m, porém, caso o reator disponha de fundo falso esse espaçamento poderá ser maior.

A execução deve ser efetuada de forma a permitir todas as facilidades para operações de limpeza das canalizações. Sugere-se o uso de canalizações em PVC, porém de parede espessa e não de parede delgada, conforme usado comumente para redes de esgotos.



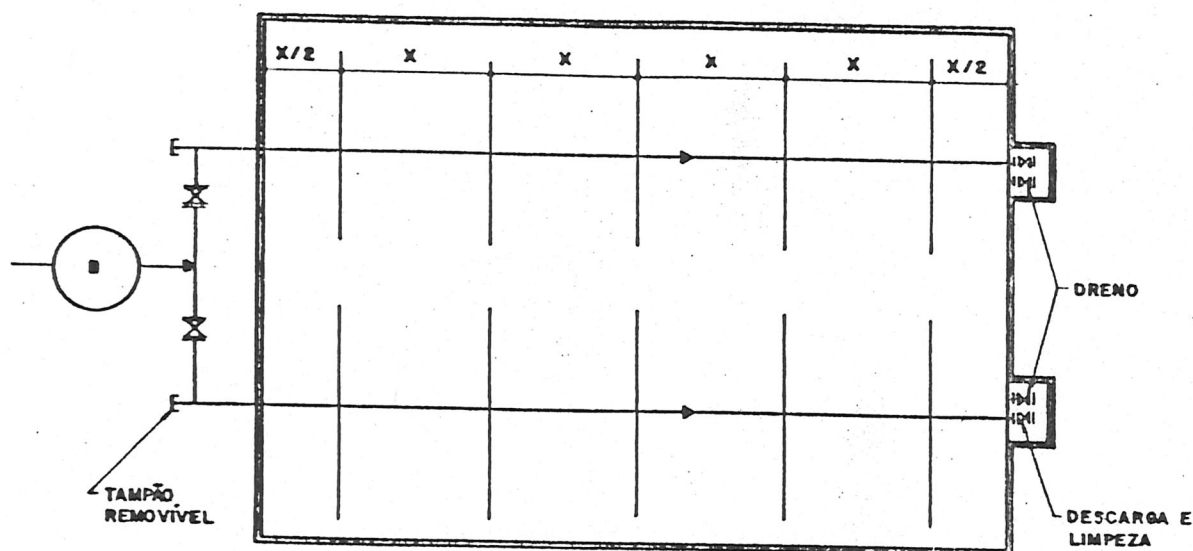


FIGURA 3.3 - Esquema mostrando uma possibilidade de distribuição de vazões por recalque no fundo de filtros anaeróbios.

A distribuição de vazões também pode ser efetuada por gravidade. Nesse caso, ao se impor velocidades elevadas, para reduzir problemas de incrustações e entupimentos, e também para possibilitar perdas de carga apropriadas nos orifícios de distribuição, tem-se o inconveniente de se ter de construir caixas de distribuição em cotas relativamente elevadas em relação ao nível d'água no reator. Mesmo neste caso, poder-se-ia utilizar o mesmo esquema proposto para distribuição por recalque, conforme mostrado na Figura 3.3.

Evidentemente, a distribuição ideal basear-se-ia na construção de uma caixa elevada com tantos vertedores de saída iguais, quantas fossem as canalizações para alimentar todos os pontos estrategicamente definidos no fundo da unidade. Essa solução é factível para unidades pequenas, porém, torna-se inadequada para unidades de médio e grande porte.

Na realidade, pode-se chegar a soluções interessantes combinando-se caixas providas com alguns vertedores que distribuem igualmente a vazão afluente a diversas canalizações, que

passam a se constituir "manifolds" que, por sua vez, alimentam canalizações secundárias providas de orifícios adequadamente espaçados.

Reforça-se a afirmação de que qualquer solução adotada deve dispor de recursos fáceis para limpeza e descarga das canalizações de distribuição, pois sempre estão sujeitos a eventualidades que podem causar entupimentos parciais, ao longo do tempo, que distorcem violentamente a distribuição desejada no projeto.

Uma forma relativamente segura de se efetuar a distribuição do afluente pode ser conseguida, implantando-se as canalizações de distribuição apoiadas e fixas sobre o leito. Dessas canalizações podem partir canalizações verticais de diâmetros menores, cuja extremidade inferior abre-se junto ao fundo do reator. Para melhorar ainda mais a facilidade de limpeza, no local de junção da canalização vertical com a horizontal (sobre o leito) pode-se colocar uma cruzeta com tampão removível, o que viabiliza a inspeção e limpeza desta canalização secundária. Na Figura 3.4 apresenta-se esquematicamente essa sugestão.

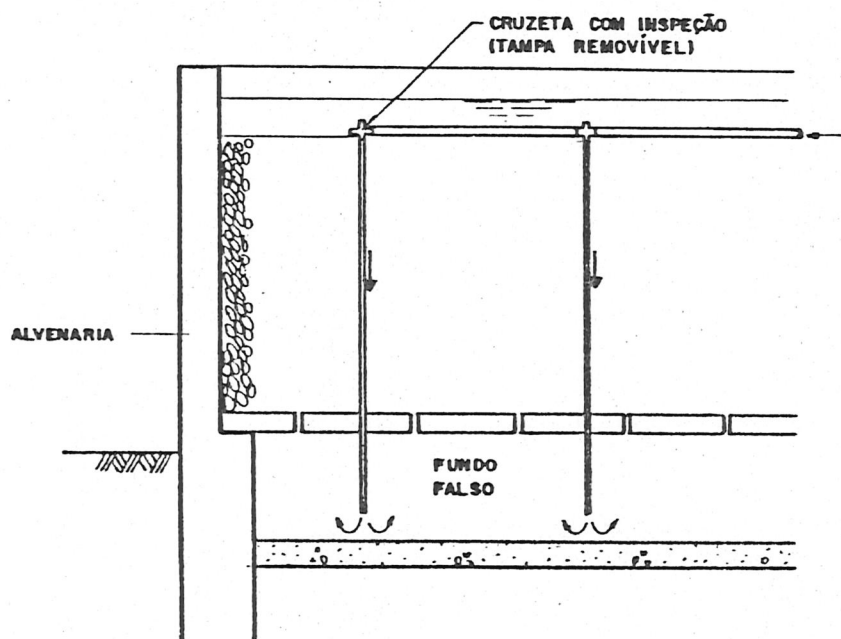


FIGURA 3.4 - Sugestão para distribuição de vazão em filtro anaeróbio [ 07 ].

Note-se que os exemplos mostrados abordam basicamente os filtros de fluxo ascendente. Ao se adotar a alternativa de se usar fluxo descendente, devem ser tomados os cuidados necessários, respeitando-se os mesmos princípios já expostos.

É evidente que além dessas soluções existem muitas outras que podem resolver de maneira adequada a função de distribuição das águas residuárias no reator. Estas que foram apresentadas podem servir de idéias preliminares para auxiliar a concepção de outras específicas, que se adaptem a cada projeto do leitor.

### 3.3 - Sistema de Coleta de Efluentes

Assim como se deve ter muito cuidado ao se projetar o sistema de distribuição, também o sistema de coleta de efluentes dos filtros anaeróbios demanda critérios para que não sejam criadas condições para se formar zonas mortas na unidade, que podem reduzir a capacidade útil do reator.

Na Figura 3.5 apresentam-se duas alternativas para coleta de efluentes desse tipo de reator, quando operado com fluxo ascendente.

O uso de tubos afogados (em PVC, de parede espessa, por exemplo) é muito interessante, pois, esse sistema permite até que sejam superados pequenos erros de nivelamento dos coletores. O nível d'água, nesse caso, é definido por uma comporta do tipo "stop log", instalada no canal principal ao qual convergem os coletores secundários providos de furos, distribuídos homogeneamente na área superficial do reator.

É interessante que nesses furos ocorra certa perda de carga localizada, para melhorar a homogeneização da coleta.

Os efluentes dessa unidade também podem ser coletados empregando-se calhas superficiais, executadas em materiais resistentes à corrosão (ou revestidos adequadamente). Nesse caso, recomenda-se o uso de acessórios que permitam o nivelamento localizado dessas calhas, pois é muito difícil a execução desse dispositivo de coleta de efluentes, perfeitamente em nível.

Em certos casos pode ocorrer flutuação de materiais, que são arrastados para as calhas ou tubos de coleta. Nessa situação podem ser usados anteparos paralelamente a essas calhas e

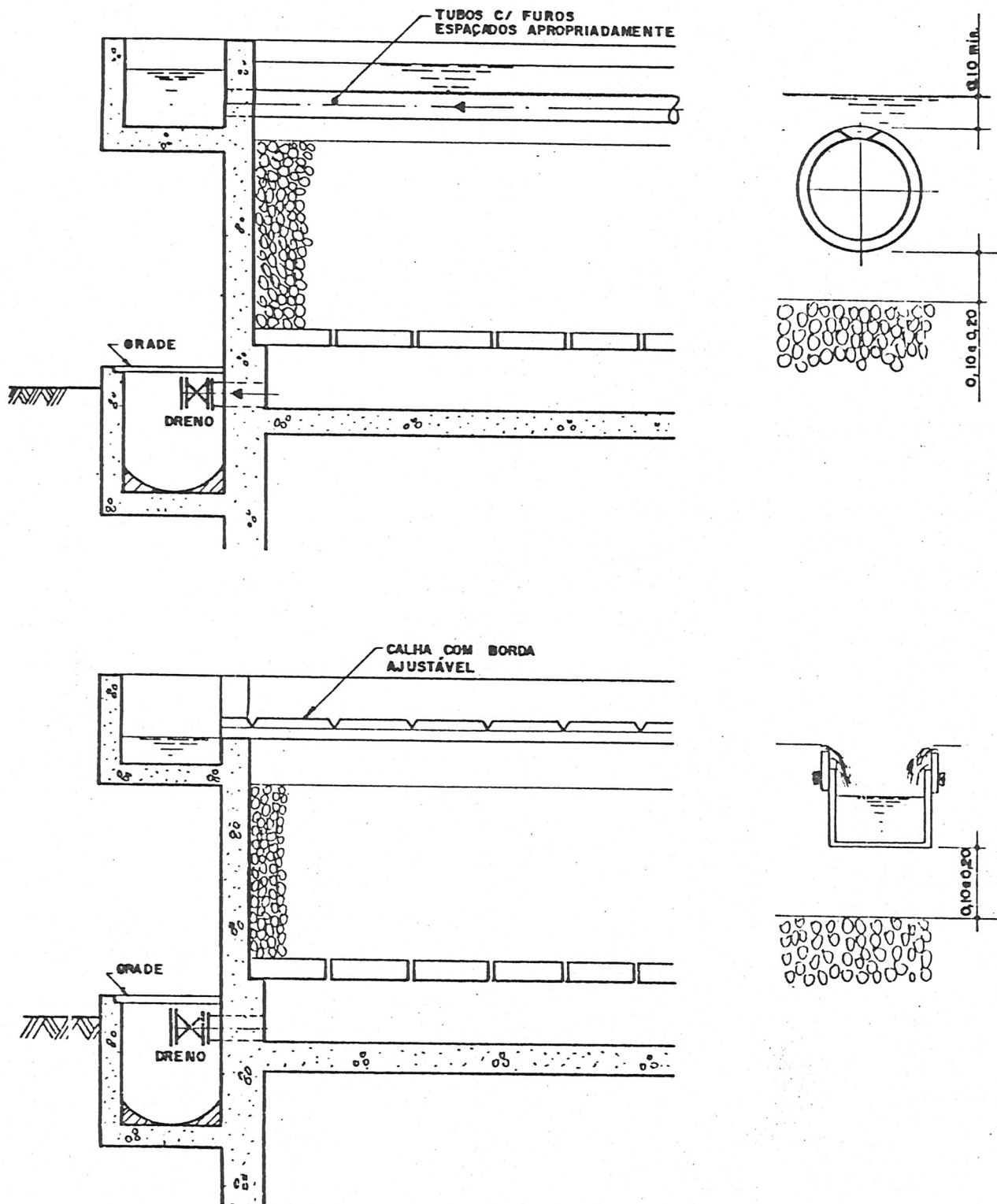


FIGURA 3.5 - Exemplos de sistemas de coleta de efluentes de filtros anaeróbios de fluxo ascendente.

tubos, de modo a impedir esse arraste indesejável, a exemplo daqueles anteparos usados junto a calhas de decantadores.

#### 4. POTENCIALIDADE DE APLICAÇÃO DO FILTRO ANAERÓBIO

No filtro anaeróbio, como qualquer outro reator cujo funcionamento baseia-se no processo anaeróbio, pode-se dispor de todas as conhecidas vantagens desse processo biológico em relação ao aeróbio, tais como a baixa produção de lodo, o baixo ou nulo consumo de energia, necessidade de poucos recursos eletromecânicos, etc. No caso particular do filtro anaeróbio, soma-se a grande facilidade de operação do sistema.

Apesar de estar sendo estudado intensivamente por muitos pesquisadores, o processo anaeróbio ainda não é conhecido em sua totalidade, e, portanto não se conhece toda a sua potencialidade para servir de solução para tratamento dos mais diversos efluentes líquidos.

Speece [ 19 ] enumera dezenas de compostos que são degradados anaerobicamente e também muitos tipos de efluentes complexos, provenientes de processos industriais. Neste trabalho serão apenas mencionados alguns efluentes e substâncias, para efeito de ilustração: acetona, anilina, catecol, cresol, formaldeído, glicerol, ácido láctico, ácido maléico, efluentes de indústrias que processam batata, milho, cana de açúcar, morangos, carne, leite, etc. e indústrias que produzem cerveja, rum, fermentos, vinho, pectina, etc. [ 19 ]. A esses também podem ser incluídos efluentes de indústrias de refrigerantes e farmacêuticas [ 20 ], indústrias que processam vegetais, e outras.

Naturalmente, a esses substratos podem ser somados outros que já estão sendo estudados ou que ainda o serão, e que poderão ser tratados através do processo anaeróbio.

O filtro anaeróbio, por reter quantidade significativa de sólidos biológicos, tem grande capacidade natural de superar a introdução de cargas de choque ou de agentes tóxicos ou inibidores, dentro de certos limites, evidentemente. Contudo existe uma série de fatores que devem ser analisados ao se considerar a hipótese de tratamento anaeróbio.

Assim sendo, precedendo a adoção do processo biológico,

o projetista deve conhecer perfeitamente o despejo a ser tratado, tanto no aspecto quantitativo como qualitativo, pois sabe-se que o processo anaeróbio tem exigências específicas no que concerne a pH, temperatura, DQO, nutrientes, elementos-traço, alcalinidade, presença de óleos e graxas, tóxicos e inibidores.

Para iniciar o conhecimento de um determinado despejo devem-se, preliminarmente, desenvolver estudos de tratabilidade, em escala de laboratório, para determinar-se eventuais limitações no que concerne aos fatores destacados no parágrafo anterior. Essa fase de estudos baseia-se, geralmente, na produção e na composição dos gases gerados através da decomposição do subtrato em ambiente anaeróbio.

Depois dessa fase, deve-se construir e operar instalação piloto, por mais simples que seja, para conhecer-se melhor as condições e limitações do processo frente ao efluente líquido em questão. Na Figura 4.1 apresenta-se o esquema de uma instalação piloto de filtro anaeróbio.

O diâmetro do reator piloto deve ser pelo menos dez vezes maior do que o tamanho do material suporte, para reduzir-se o efeito de parede. É fundamental que esse reator seja operado por tempo relativamente longo, para que realmente se conheçam as condições de funcionamento quando atingida a fase de regime permanente do sistema.

Com base nos dados coletados nesse reator, pode-se, finalmente, estabelecer-se os critérios de projeto para a concepção de um filtro anaeróbio para o efluente estudado.

Apesar da existência de muitos dados que permitem o pré-dimensionamento de filtros anaeróbios, para diferentes efluentes, é sempre recomendável que seja operada uma instalação piloto para a obtenção de informações específicas para o caso em questão.

Não é do escopo deste trabalho uma análise dos fatores que interferem na digestão anaeróbia, e assim, a seguir apresentar-se-ão apenas algumas recomendações gerais e preliminares para orientação inicial, sobre as condições desejáveis do afluente de filtros anaeróbios:

- Óleos e graxas (mg/l) < 0,10 DBO (mg/l)
- Alcalinidade (mg/l) > 0,25 DBO (mg/l)

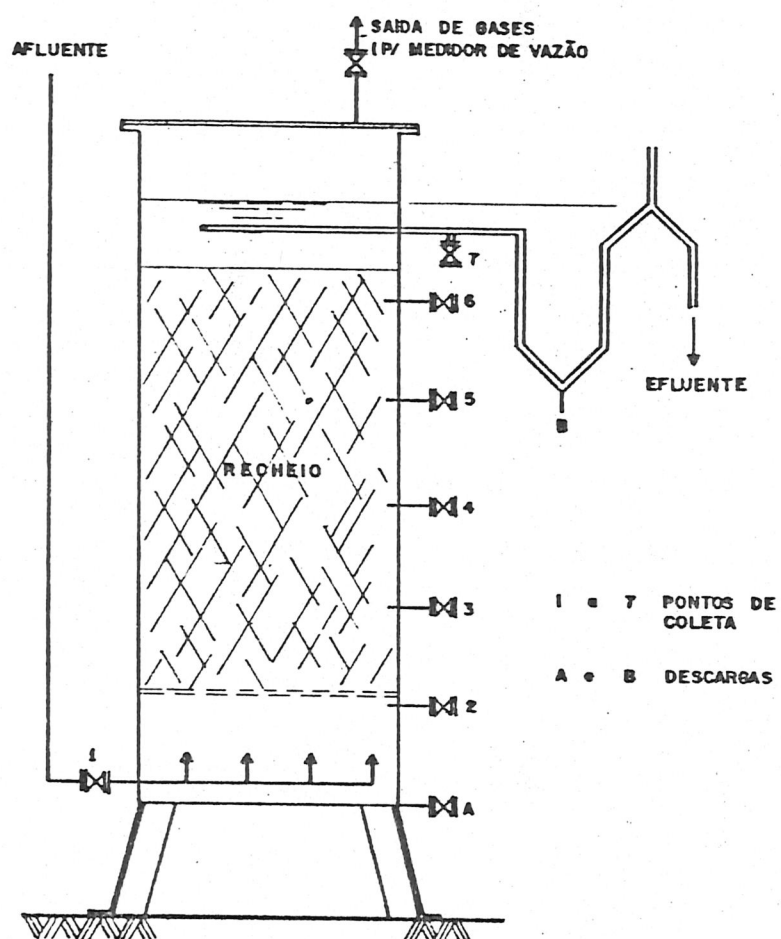


FIGURA 4.1 - Esquema de uma instalação piloto de filtro anaeróbio.



- Nitrogênio (mg/l) > 0,02 DBO (mg/l)
- Sólidos suspensos (mg/l) < 0,10 DBO (mg/l)
- Fósforo (mg/l) > 0,20 Nitrogênio (mg/l)

Essas recomendações são propostas por Young [23], sendo que o valor da DBO referido corresponde à Demanda Bioquímica de Oxigênio Total e não àquela relativa à DBO<sub>5</sub>.

Ressalta-se o fato de que a presença de óleos e graxas em excesso, pode causar efeitos drásticos que prejudicam o processo de forma dramática. Assim sendo, em indústrias que possuem despejos com elevado teor de óleos e graxas (abatedouros, indústrias de óleos, laticínios, etc) deve-se prever, como tratamento preliminar, um excelente sistema para remoção de óleos e graxas.

A mesma consideração é feita para a concentração de sólidos suspensos grosseiros.

## 5. EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO DE FILTROS ANAERÓBIOS

### 5.1 - Considerações Gerais

Provavelmente uma das primeiras instalações de filtro anaeróbio em escala real foi construída em 1970, visando tratamento de efluentes de indústria de produção de amido. Essa unidade foi operada com taxa de carregamento orgânico de cerca de 4,4 kg DQO/m<sup>3</sup>.dia e apresentava remoção de DQO próxima a 75%. Essa instalação teve seu funcionamento interrompido por ter ocorrido colmatação do leito e por apresentar eficiência inferior à desejável. Esses resultados foram relatados por Richter e Mackie e Taylor, citados por Young [23].

A partir de 1977 começaram a surgir novas instalações nos U.S.A. e no Canadá, que até hoje se encontram em operação, sendo que a quase totalidade das mesmas dispõem de meios sintéticos como suporte. De maneira geral, emprega-se uma única unidade com fluxo ascendente ou o sistema com duas unidades em série, conforme mostrado na figura 3.2.

A altura do leito nesses sistemas varia preponderantemente entre 3 e 12 m e a taxa de carregamento orgânico, na maioria dos casos, está entre 3 e 8 kg DQO/m<sup>3</sup>.dia, porém, para des-

pejos mais concentrados (DQO acima de 14.000 mg/l, encontram-se taxas de até 16 kg DQO/m<sup>3</sup>.dia [ 23 ]. Nos casos em que se tem taxas de carregamento orgânico mais elevadas, emprega-se recirculação no sistema, com relação "Recirculação/Afluente" de até 5:1. O tempo de detenção hidráulico, de maneira geral, encontra-se na faixa de 12 a 96 h, e a eficiência na remoção de DQO, geralmente na faixa de 80 ± 10% [ 23 ].

As indústrias nas quais se encontram os referidos filtros apresentam efluentes que contêm, preponderantemente: carboidratos de maneira geral, alcoóis, ácidos orgânicos e proteínas.

No Brasil, o uso de filtro anaeróbio praticamente iniciou-se no final da década de 70; porém, tendo em vista o baixo custo das pedras como material suporte, até hoje esse meio tem prevalecido nos projetos desse tipo de reator. Somente recentemente começa-se a se considerar o uso de material sintético para o suporte.

Na Tabela 5.1 apresentam-se alguns resultados concernentes com instalações de filtros anaeróbios que se encontram em operação em diferentes tipos de indústrias.

TABELA 5.1 - Dados de algumas instalações de tratamento de efluentes líquidos com filtros anaeróbios, apresentando eficiência de remoção de DQO (85 ± 10%).

TIPO DE INDÚSTRIA	DQO MÉDIA (mg/l)	VOLUME ÚTIL DO(S) REATOR(ES)	TAXA DE CARREG. ORGÂNICO (kg DQO/m <sup>3</sup> .dia)	TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICO (h)
Indústria de Laticínios	1200	90	1,8	16
Indústria de Laticínios	1200	18	1,2	24
Indústria de Laticínios	1300	200	1,3	24
Indústria de Laticínios	4600	90	4,6	24
Indústria de Laticínios	1500	140	1,9	19
Resfriamento de Leite	1200	50	1,2	24
Produção de Refrigerantes	3100	200	4,7	16
Produção de Refrigerantes	1270	550	2,3	13
Industrialização de Carnes	1800	94	1,8	24
Industrialização de Carnes	2400	32	2,9	20
Produção de Charque	1700	50	1,7	24
Produção de Conservas Vegetais	2100	1620	2,8	18

Fonte: ECTA LTDA [ 07 ].

Todos os filtros em operação que constam da Tabela 5.1, possuem pedras como material suporte, com tamanho entre 5 a 8 cm. Ressalte-se o fato de que esse tamanho deve ser respeitado, não devendo ser utilizadas pedras muito menores, pois neste caso, pode ocorrer problemas de colmatação.

Alguns desses filtros se encontram em operação há quase dez anos, sem problemas de entupimento.

Todas as unidades em questão possuem fundo falso, que, apesar de onerar a execução da unidade, permite que se disponha de uma região inferior do reator com formação de agregados e grânulos em suspensão. Sobre a laje perfurada do fundo falso dos reatores enumerados, é localizado o recheio, cuja espessura varia entre 0,80 a 1,20 m, preponderantemente. Os tempos de detenção hidráulicos que constam na Tabela 5.1 foram calculados considerando-se o volume de vazios neste leito.

Após a apresentação desses dados iniciais sobre sistemas em operação, observa-se que a concepção dos filtros anaeróbios pode respeitar critérios um tanto diferentes quando se emprega recheio sintético com elevado índice de vazios ou recheio constituído por pedras. No primeiro caso verifica-se que se pode ter reatores com altura muito maior e, portanto, podem geralmente serem cobertos com custo relativamente menor que no segundo caso.

Deve ser ressaltado, contudo, que nem sempre a captação, purificação e uso do biogás constituem uma solução econômica, principalmente quando a DBO do efluente a ser tratado apresenta-se com valor relativamente pequeno. Por outro lado, a cobertura pode ser interessante, quando se trata de efluentes que potencialmente podem produzir maus odores.

Complementando essa abordagem inicial sobre parâmetros de filtros anaeróbios em operação, serão apresentadas, a seguir, algumas considerações mais específicas sobre projetos com o emprego desse tipo de reator para alguns casos particulares. No que concerne ao uso de filtros anaeróbios para tratamento de efluentes industriais, a Escola de Engenharia de São Carlos-USP, vem se dedicando à sua pesquisa há mais de doze anos [1] [2] [3] [4] [5] [8] [9] [15] [16] [18], o que possibilitou a elaboração de diversos projetos; alguns dos quais serão melhor detalhados a seguir.

Apenas serão abordados estudos de casos de indústrias de carnes, refrigerantes, laticínios e de conservas vegetais, porém esse reator já vem sendo projetado no Brasil para outros tipos de efluentes.

Adicionalmente, neste texto, também será feita pequena abordagem sobre tratamento de esgotos sanitários através do emprego de filtro anaeróbio.

## 5.2 - Esgotos Sanitários

A utilização de filtros anareóbios como tratamento complementar de efluentes de fossas sépticas tem sido bastante difundida no Brasil, constando, inclusive, da legislação vigente [9].

Vieira, S.M.M e Sobrinho, P.A. [21] estudaram a associação de decanto-digestor e filtro anaeróbio para o tratamento de esgotos sanitários e chegaram às seguintes conclusões principais:

- (a) o sistema necessita de um tempo de adaptação de cerca de três meses, ou a partida tem de ser controlada, aumentando-se lentamente a carga do sistema;
- (b) o sistema atingiu bons resultados na remoção de DBO e SS a tempos de detenção mínimos de 4,1 horas na câmara de decantação do decanto-digestor e 19 horas no filtro anaeróbio, em relação à vazão média;
- (c) a limpeza controlada do decanto-digestor e do filtro anaeróbio são de extrema importância para tornar eficiente a remoção de sólidos pelo sistema, pois os sólidos contidos no efluente são de difícil separação, não sendo viável sua remoção por simples sedimentação após serem arrastados junto com o efluente.

Com relação à utilização do filtro anaeróbio para o tratamento de esgotos sanitários sem digestão preliminar, pode-se constatar que poucos estudos foram relatados até a presente data. Entre esses, Kobayashi et alii, apud [9], operaram, em escala de laboratório, um filtro anaeróbio com enchimento plástico de alta área superficial específica para o tratamento de esgotos domésticos com DBO média de 288 mg/l, tempo de detenção de

24 horas, temperatura de 20, 25 e 35°C e taxas de aplicação média de 0,32 kg DBO/m<sup>3</sup>.dia. O efluente do filtro, operado durante 60 dias, apresentou valores médios de DBO de 38 mg/l, e DQO de 78 mg/l, correspondendo a eficiências de 79% e 73% em relação à DBO e DQO, respectivamente. A eficiência do sistema praticamente não sofreu influência da variação da qualidade do afluente ao longo do dia. O comportamento do filtro para as temperaturas de 25 e 35°C foi basicamente o mesmo, porém a 20°C as eficiências de remoção de DBO e SS caíram sensivelmente. A produção de gás foi em média 0,027 litro por litro de esgoto afluente ou 117 l/kg de DBO afluente. Foi observado grande aumento no nível de sulfetos no efluente.

### 5.3 - Efluentes de Indústria de Conservas de Carne

Em 1977, Foresti et alii [8] operaram um filtro anaeróbio piloto com o objetivo de verificar a aplicabilidade desse tipo de reator para tratamento de efluentes de indústrias de conservas de carne, assim como para obter valores de parâmetros envolvidos no dimensionamento de um reator em escala de protótipo.

Esses estudos foram desenvolvidos empregando os efluentes líquidos de um grande frigorífico e demonstraram que esse tipo de reator, além de ser adequado ao tratamento dos efluentes industriais em questão, também poderia oferecer grandes vantagens no que se refere a custos, principalmente aqueles relacionados com a operação e manutenção do sistema.

Esse reator foi operado durante cinco meses, verificando-se que no final desse período a remoção média de DBO resultou da ordem de 70%, com tempo de detenção hidráulico igual a 18 h. No início da pesquisa foram testadas diversas espessuras de leito, chegando-se posteriormente à conclusão que nas circunstâncias em que foram realizados os estudos, para esse tipo de despejo e para leito de pedra, a remoção de DBO era mais efetiva nas camadas mais próximas ao fundo, ressaltando o fato de que deveria ser projetado reator em escala de protótipo com espessura de leito não superior a pouco mais de 1,00 m. O efluente do filtro anaeróbio piloto apresentava-se clarificado, com baixos teores de sólidos sedimentáveis (dispensando decantação secundária) e não exalava odores [8].



Deve ser ressaltado que foi notada sensível tendência de aumento da eficiência do reator em função do tempo de operação, o que permitiu que se concluísse que o mesmo ainda não atingira seu estado de equilíbrio dinâmico mesmo após cinco meses de operação. Esse fato permitiu inferir que certamente após alcançado esse estágio, a eficiência na remoção de DBO iria resultar superior ao valor atingido até então.

Com base nessas conclusões também foi elaborado o projeto que ora é descrito no presente trabalho. A fábrica em questão dedica-se à industrialização de carne bovina, suína e de seus derivados, produzindo mortadela, linguiça, salame, salsicha, presunto e charque [7].

Na ocasião em que foi elaborado o projeto, essa empresa possuía cerca de 140 empregados. Nesse tipo de indústria, a grande parte dos despejos líquidos provém da lavagem de mesas de trabalho, limpeza de máquinas e vasilhames e lavagem de pisos. O consumo, nesses itens ocorre desde o início do período de funcionamento diário, por causa da necessidade constante de limpeza nos compartimentos de produção, que é feita com magueiras de água quente. No período final da tarde, essa limpeza aumenta de intensidade, tornando-se geral na indústria e terminando no início da noite. Além desses, existem outros despejos líquidos tais como aqueles decorrentes de: descarga de tanque de lavagem de carne, descarga de tanque de salga, lavagem de pátios de variação de charque, descarga de tanque de choque térmico, descargas de caldeiras e da graxaria e descargas do sistema de refrigeração.

A DBO<sub>5</sub> média desses efluentes era da ordem de 2600 mg/l. O valor de pH variava entre 5,8 e 7,7.

O projeto inicial foi elaborado com base na vazão média de 4,00 l/s, sendo que cerca de 63% da mesma é originada nas atividades de limpeza de mesas, pisos, etc. Esse valor de vazão inclui os esgotos sanitários.

Como a produção da indústria na ocasião em que foi construído o sistema era da ordem de 50% da prevista como meta, o tratamento primário foi executado visando a receber 4,00 l/s, porém foram construídas apenas duas unidades do filtro anaeróbio, das quatro que foram previstas.

Como tratamento preliminar para os despejos oriundos dos tanques para salga foi prevista uma pequena unidade para regula

rização de vazão, e para os esgotos sanitários foi prevista a construção de tanque séptico. Essa segunda unidade, porém não foi colocada em operação, e, dessa maneira, os esgotos sanitários brutos atualmente são lançados diretamente na unidade de tratamento biológico.

Os efluentes industriais após caixa de gordura (tempo de detenção de projeto: 1,00 h) são misturados com os esgotos sanitários e têm acesso ao filtro anaeróbio, sendo em seguida lançados no corpo receptor. O lodo retirado do filtro anaeróbio é "seco" em leito de secagem convencional (61,0 m<sup>2</sup>).

A Figura 5.2 apresenta um esquema das instalações de tratamento dos efluentes líquidos da indústria em questão [7].

As duas unidades de filtro anaeróbio que foram construídas, foram projetadas para receber vazão média de 2,0 l/s, correspondendo a tempo de detenção hidráulico da ordem de 24 h, supondo-se funcionamento da indústria durante 14 h por dia.

Em síntese, as unidades do filtro anaeróbio obedeceram as seguintes condições:

- Volume diário de efluentes líquidos:  
 $2,0 \text{ (l/s)} \times 3600 \text{ (s/h)} \times 14 \text{ (h)} = 100.000 \text{ l} = 100,0 \text{ m}^3$
- Índices de vazios do leito: 40%
- Tempo de detenção hidráulico: 24 h
- Volume total do filtro anaeróbio: 250,0 m<sup>3</sup>
- Altura do leito: 0,75 m
- Área superficial total do filtro: 333,3 m<sup>2</sup>
- Número de unidades: 2
- Dimensões em planta de cada unidade  
 Secção quadrada  
 Lado: 12,9 m

O filtro anaeróbio é constituído de duas unidades de secção quadrada, conforme esquematizado na Figura 5.2, com uma caixa de distribuição dos efluentes industriais, de onde partem duas canalizações, uma para cada unidade, recebendo cada qual metade da vazão total. Essas canalizações, por sua vez, possuem diversas derivações que distribuem os efluentes de maneira adequada no interior falso existente sob o leito de cada unidade.



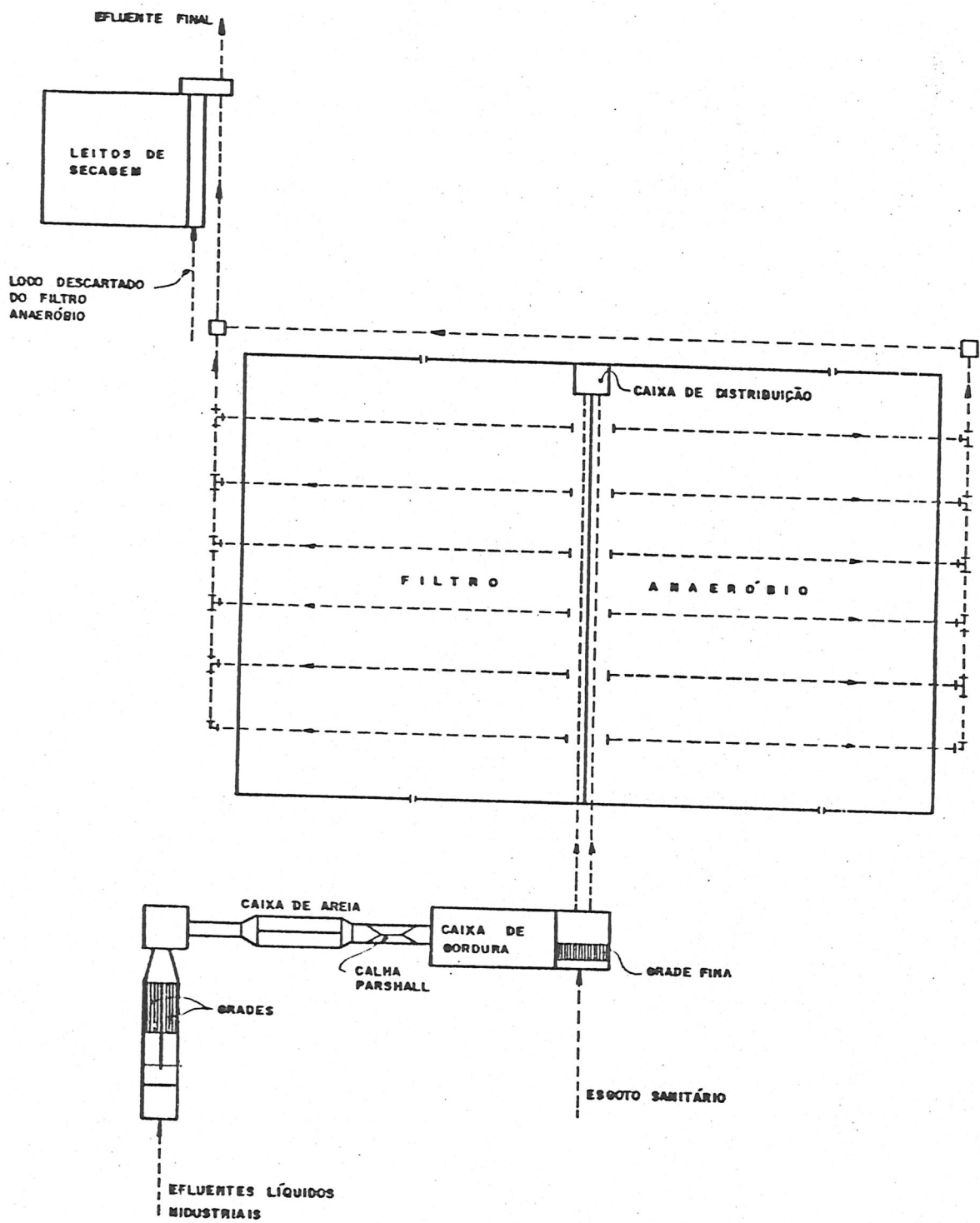


FIGURA 5.2 - Esquema do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de conservas de carne [7].

Sobre o fundo falso é disposta uma camada de pedras com tamanhos entre 4 e 8 cm, com espessura média da ordem de 0,75 m, que constitui o leito do reator.

O sistema de coleta de efluentes é constituído por uma série de canalizações perfuradas, dispostas da maneira apresentada na Figura 3.5.

Como nessas unidades não ocorrem grandes variações de nível, as mesmas apresentam apenas 0,20 m de borda livre.

Essas unidades foram executadas com relativa facilidade, totalmente em alvenaria de tijolos (parede de um tijolo), com armadura bastante reduzida, empregando argamassa de cimento e areia. Foi realizada impermeabilização interna e externa, de acordo com os critérios usuais.

A limpeza das unidades pode ser efetuada facilmente através de descargas de fundo e da eventual remoção manual de algas da superfície do leito e dos dispositivos de coleta de efluentes. Essa atividade torna-se relativamente simples, tendo em vista que a lâmina líquida sobre as pedras é da ordem de 0,30 m, o que permite ao operador caminhar sobre as mesmas, utilizando botas de cano longo.

Como já foi afirmado anteriormente, o projeto original foi elaborado prevendo a construção de quatro unidades de filtro anaeróbio (vazão média 4,0 l/s), porém, foram construídas apenas duas, visando a atender as necessidades da indústria naquela ocasião, ou seja, essas unidades foram projetadas com um dia de detenção hidráulica e vazão de 2,0 l/s.

Desde sua construção até o presente, esse sistema vem atendendo os requisitos desejáveis, em termos de eficiência de remoção de DBO, para o lançamento dos efluentes no corpo receptor, porém, não foi feito um acompanhamento rigoroso do seu desempenho, de maneira a se dispor de uma série ampla de dados relacionados como seu funcionamento.

Os resultados ora apresentados foram obtidos através de campanha realizada durante um dia normal de trabalho (29/10/85), sendo coletadas amostras em intervalos de 15 minutos [5].

Essas amostras foram homogeneizadas posteriormente, e os resultados das análises são apresentados na Tabela 5.2. Todas as determinações foram efetuadas com amostras não filtradas.

TABELA 5.2 - Resultados atuais relativos ao sistema de tratamento dos efluentes líquidos da Fábrica de Salames Rio Preto S/A. (29.10.85). [5]

PARÂMETRO	EFLUENTES INDUSTRIAIS BRUTOS	EFLUENTES INDUSTRIAIS APÓS TRATAMENTO PRIMÁRIO	EFLUENTES DOS FILTROS ANAERÓBIOS	
			FILTRO 1	FILTRO 2
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	24 a 25	24 a 25	24 a 26	24 a 26
pH	7,0	7,0	6,9	6,8
Alcalinidade Total (mg/l em $\text{CaCO}_3$ )		120,0	209,0	200,0
de Hidróxidos	-	-	-	-
de Carbonatos	-	-	-	-
de Bicarbonatos		120,0	209,0	200,0
DQO (mg/l)	2250	1878	427	460
Sulfatos (mg/l)	140	*	125	60
Nitrogênio Kjeldahl (mg/l)	34,70	*	44,0	45,60
Amoniacal	5,67	*	12,76	13,12
Orgânico	29,03	*	31,24	31,88
Nitritos	0,08	*	0,02	0,03
Nitratos	-	*	0,03	0,03
Fósforo - $\text{PO}_4^{3-}$ (mg/l)	155,0	*	138,0	153,0
Sólidos Sedimentáveis (ml/l)	7,0	6,0	0,1	0,2
Resíduo Total	4020	3443	2300	2439
Fixo	2319	2071	1716	1815
Volátil	1701	1372	584	624
Resíduos Suspensos Total	1103	889	92	123
Fixo	35	24	11	10
Volátil	1068	865	81	113
Resíduos Dissolvidos Total (mg/l)	2917	2554	2208	2316
Fixo	2284	2047	1705	1805
Volátil	633	507	503	511

(-) valor nulo ou muito próximo a zero

(\*) determinação não realizada

OBS.: amostras não filtradas.

É importante destacar que a vazão dos efluentes brutos (excluindo-se esgotos sanitários) também foi determinada em intervalos de 15 min., obtendo-se os seguintes valores: 1,2 l/s, 3,7 l/s e 11,0 l/s, para as vazões mínima, média e máxima, respectivamente; e ainda, que essa indústria não funciona durante 24 horas por dia, e que as vazões de pico apresentam duração inferior a 1 hora.

Tomando-se como base a vazão média constata-se que o tempo de detenção hidráulico real, no presente, é da ordem de apenas 13 h e não mais de 24 h, como ocorria no início de funcionamento do sistema. Além disso, na análise do desempenho do rea

tor, deve ser levado em consideração o fato de que os esgotos sanitários estão sendo lançados no mesmo, sem qualquer tratamento primário (só gradeamento), e sua vazão não foi computada naquelas vazões medidas.

Além das análises físico-químicas que foram efetuadas com as amostras de efluentes, também procurou-se obter informações (através de microscopia) acerca da composição do material que se acumula na superfície das pedras que ficam na camada superior do leito e que recebem diretamente a luz solar. Esse material não chega a provocar problemas de operação, porém sua presença é facilmente sentida, tendo em vista a grande quantidade presente.

Através desse estudo, foi constatado que essa região do reator apresenta comunidade típica de ambientes aeróbios em decorrência da dissolução de oxigênio da atmosfera através da superfície livre do líquido e, como consequência, da presença de significativa quantidade de algas, destacando-se a predominância de algas cianófitas, gênero *oscillatoria*. Além disso, foram detectados protozoários flagelados e ciliados (fixos e livre-natantes) de várias espécies, entre as quais *Paramecium*, e também rotíferos e nematóides [5].

A existência dessa zona aeróbia, acima do leito, certamente deve ter alguma ação relacionada com a qualidade final do efluente, e, por esse motivo, em trabalhos futuros, será dada maior ênfase ao estudo da participação dessa região no desempenho global do reator.

Através da análise dos dados da Tabela 5.2, podem ser extraídas algumas considerações que serão apresentadas a seguir.

O pH, tanto dos efluentes brutos como dos efluentes tratados manteve-se próximo ao valor neutro, porém a alcalinidade teve aumento sensível no reator anaeróbio, ou seja, de 120 mg/l em  $\text{CaCO}_3$  para valor da ordem de 200 mg/l em  $\text{CaCO}_3$ . Essa elevação natural na alcalinidade deve-se, certamente, às características dessas águas residuárias, que apresentam quantidade razoável de proteínas, o que fica de certa forma atestado pela concentração detectada de nitrogênio orgânico (29,03 mg/l) presente nas mesmas.

Em termos de remoção de DQO, o sistema como um todo promoveu remoção da ordem de 80%, sendo que o tratamento primário

removeu 16% e o filtro anaeróbio 76%. Esse desempenho pode ser considerado satisfatório tendo em vista que o tempo de detenção hidráulico real é de apenas 13 h, em contraste com aquele previsto em projeto, igual a 24 h.

Apesar da presença de sulfatos (149 mg/l) nos efluentes brutos, nunca foi constatado qualquer problema de exalação de maus odores durante o período de funcionamento, após a maturação inicial do reator.

Os valores detectados de Nitrogênio, em suas várias formas, merecem considerações especiais, tendo em vista que houve aumento nas concentrações desse elemento. Esse fato, certamente, está associado à presença de algas cianofíceas, que têm a particularidade de assimilar o nitrogênio presente na atmosfera e, como as amostras dos efluentes tratados foram analisadas sem pré-filtração, os resultados englobam as consequências da presença de algas nos efluentes.

Note-se que a aerobiose que prevalece na camada superficial do reator, inclusive provoca o aparecimento de pequena concentração de nitratos no efluente tratado (0,03 mg/l).

O teor de Fósforo sofreu apenas pequena redução: fato já esperado tendo em vista o baixo consumo relativo desse elemento em reatores anaeróbios.

A remoção de sólidos sedimentáveis é expressiva, de maneira que os valores encontrados nos efluentes variaram entre 0,1 e 0,2 mg/l, situação que se enquadra perfeitamente na legislação vigente.

A remoção global de sólidos suspensos no sistema de tratamento foi de 93%, sendo que 19% foram removidos no tratamento primário, e 88% no filtro anaeróbio.

Parece ser muito importante destacar que esse reator, nas condições atuais de funcionamento, está efetuando sensível redução no teor de sólidos suspensos, porém está exercendo influência muito pequena no teor de sólidos dissolvidos.

Finalizando essas considerações sobre o sistema estudado, merecem ser destacadas algumas observações relacionadas com a operação do sistema. Esse reator teve sua partida sem a utilização de qualquer inóculo, e, mesmo assim, após três meses já estava funcionando em condições apropriadas. Outros filtros anaeróbios projetados de acordo com os mesmos critérios aqui discu

tidos em sendo inoculados, em sua partida, com estrume de bovinos, o que vem oferecendo bons resultados.

As únicas atividades exigidas para a operação do filtro anaeróbio são as operações de retirada de material flutuante que se acumula em quantidade relativamente pequena na superfície do líquido, remoção eventual das algas que se acumulam na superfície do leito e descargas de lodo retido no fundo falso. Essa última operação é efetuada em intervalos de tempo variáveis de 2 a 3 meses, sendo que a capacidade do leito de secagem projetado atende perfeitamente ao volume descartado nessas operações.

Segundo a direção da indústria, esse reator nunca chegou a apresentar problemas de exalação de maus odores.

#### 5.4 - Efluentes de Indústrias de Laticínios

Rodrigues et alii [18], em pesquisa efetuada com uridade piloto de filtro anaeróbio para tratamento de despejos líquidos de indústria de laticínios, após seis meses de operação, verificaram que esse tipos de reator apresenta bom desempenho na remoção de DBO e de DQO (70% a 98%) e que a camada mais próxima do fundo, com espessura de 0,40 m, é responsável pela maior taxa específica de remoção da matéria orgânica. As principais características dos despejos industriais são: DBO = 842 mg/l; DQO = 1.219 mg/l; pH = 4,3. Apesar de o pH do afluente apresentar-se bastante ácido, não foi necessário efetuar a sua correção, e logo após a primeira camada (0,40 m) o próprio meio se encarregava de elevá-lo, naturalmente, para valores próximos de 7,0. Para a concepção do projeto em escala de protótipo, os autores sugeriram que a altura do leito de pedras seja de até no máximo 1,20 m, e o período de detenção esteja na faixa de 12 a 24 horas.

Roda, Pawlowsky e Patza [17] estudaram durante 15 meses a degradabilidade do despejo de uma indústria de laticínios por um filtro anaeróbio em escala semipiloto (diâmetro interno = 0,15 m e altura = 2,20 m). Foram realizados seis ensaios com taxas de aplicação até 3,0 kg DQO/m<sup>3</sup>.dia, variando-se o tempo de detenção hidráulico de 90 a 16 horas. O filtro anaeróbio apresentou bons resultados até a taxa de carregamento de 2,5 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia, com tempo de detenção hidráulico de 18 horas, fornecendo



remoções de DQO acima de 83%. O limite hidráulico do filtro foi atingido com 16 horas de tempo de detenção na taxa de 3,0 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia. A produção de gás foi em torno de 500 l/kgDQO removida e não houve necessidade de adição de nutrientes ao despejo, que manteve a relação DBO/N/P em 100/5/1. Um fato interessante observado pelos autores foi a formação de grânulos de lodo no filtro, semelhante aos encontrados nos reatores de leito de lodo granular. Além disso, a presença de grânulos de lodo se relacionou com um aumento da eficiência de remoção de DQO, demonstrando que a formação de grânulos mais ativos é comum aos tipos de reatores anaeróbios de alta taxa com cultura devidamente aclimatada.

Atualmente já existem em operação vários filtros anaeróbios tratando efluentes de indústrias de laticínios [7]. De maneira geral, o desempenho desses reatores tem sido bastante satisfatório.

A experiência com esse tipo de efluente recomenda que, precedendo ao reator seja previsto sistema eficiente para redução do teor de óleos e graxas e de ajuste de pH (introdução de álcali), e, em certos casos, também pode ocorrer a necessidade de se adicionar nitrogênio para melhor balanceamento da demanda desse elemento.

Quando for previsto tanque de equalização, precedendo ao filtro anaeróbio, é muito provável que ocorra a acidogênese acentuada dos despejos. Assim sendo, nesses casos, ou se explora esse fenômeno de maneira racional (sistema de duas fases) ou se procura controlar a acidificação a níveis desejáveis, pois há possibilidades de exalação de maus odores.

## 5.5 - Efluentes de Indústrias de Refrigerantes

Uma indústria de refrigerantes [7] vinha tratando com sucesso seus efluentes líquidos desde 1981, empregando filtro anaeróbio com leito de pedras (espessura: 1,00 m) e tempo de detenção hidráulico de cerca de 20 horas. Nos últimos anos a eficiência do sistema foi reduzida devido à sobrecarga da vazão afluente ocasionada pela ampliação da indústria. A partir de 1986, Guimarães [9] desenvolveu um estudo deste sistema de tratamento visando conhecer todo o seu potencial na degradação desse tipo de



despejo. Observou-se o desempenho do filtro anaeróbio operando-o com tempos de detenção hidráulicos de 36, 24, 18, 12 e 8,5 horas.

A eficiência média de remoção da DQB bruta variou de 87% a 48%, diminuindo com o aumento da taxa de carregamento hidráulico, isto é, diminuição do tempo de detenção hidráulico.

A temperatura média do meio permaneceu na faixa mesofílica (33,0 a 29,3°C), a qual oferece condições favoráveis ao desempenho do processo anaeróbio. O clima da região em que está implantado o sistema, associado às altas temperaturas dos despejos industriais (35,7 a 31,9°C) foi o responsável pela temperatura ambiente apresentada no filtro.

O pH afluente bruto (12,5 a 9,7) apresentou-se sempre fora da faixa recomendada pela bibliografia; entretanto, é interessante notar que quando o reator era operado com tempo de detenção hidráulico superior a 18 horas, o próprio meio se incumbia de reduzir o pH para valores próximos aos recomendados.

A Figura 5.5 apresenta esquema deste sistema de tratamento [7].

O referido trabalho de Guimarães [9] nesta instalação, apresentou, entre outras, as seguintes conclusões:

- a) é muito importante a remoção preliminar de sólidos em suspensão, presentes nos efluentes industriais brutos;
- b) o tempo de detenção hidráulico foi o fator que exerceu maior influência quanto à eficiência na remoção de DQO por este reator;
- c) para tempo de detenção hidráulico de 18 h e taxa média de carregamento orgânico igual a 1,43 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia, a eficiência média de remoção de DQO foi igual a 72%, sem qualquer correção prévia do pH do efluente. Já para TDH igual a 12 h e TCO média de 2,40 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia, a eficiência média de remoção de DQO decresceu para 59%, sendo igual a 48% quando foi imposto TDH de 8,5 h e TCO média de 3,14 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia;
- d) a variação dos parâmetros estudados com relação à altura do filtro (perfil vertical) demonstra que a maior atividade microbiana ocorreu na parcela correspondente ao fundo falso e até 0,50 m de leito de pedras;

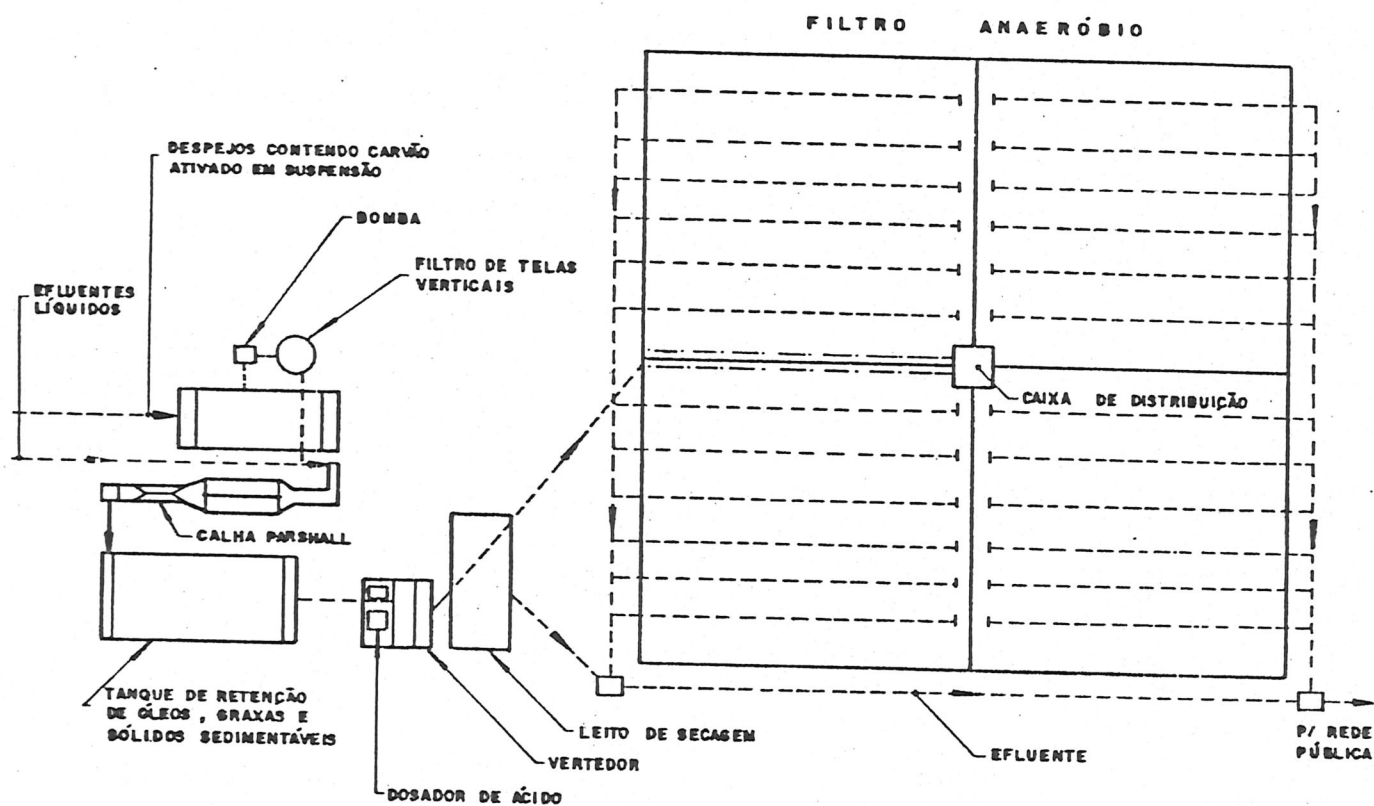


FIGURA 5.5 - Esquema do sistema de tratamento dos efluentes de uma indústria de refrigerantes [7].

- e) as bactérias incorporadas ao processo anaeróbio estudado suportaram um meio com pH acima de 9,0, algumas vezes tendo atingido valores em torno de 11,0, contrariando algumas citações da literatura, que consideram inativa a metanogênese nestes níveis de pH;
- f) para o filtro anaeróbio estudado, não houve obrigatoriedade de se corrigir o pH do efluente quando foram utilizados tempos de detenção hidráulicos maiores ou iguais a 24 horas;
- g) as bactérias presentes no reator estudado suportaram, durante um certo tempo (mais de 24 h), exposição ao oxigênio presente na atmosfera, sem prejuízo posterior da eficiência do processo;
- h) as inoculações com estrume bovino fresco, diluído em água e peneirado, mostraram-se adequadas à recuperação da estabilidade do reator;
- i) por não ser provido de cobertura, o filtro anaeróbio estudado apresentou uma camada superficial com características semelhantes às de uma lagoa de estabilização, sendo encontrado grande número de cloroflagelados, protozoários flagelados não pigmentados e ciliados. Em certos dias foram observadas condições de aerobiose até cerca de 0,20 m abaixo da superfície do leito.

## 5.6 - Efluentes de Indústrias de Conservas Vegetais

O filtro anaeróbio também tem oferecido excelentes resultados para uma indústria de conserva vegetais que processa goiaba, tomate, batata, figo, mamão, pimenta, milho (pequena quantidade), etc. [7].

Nesse caso, a eficiência do sistema atinge a remoção global de 80% de DBO, exigida pela legislação local, porém, há necessidade de se efetuar ajuste do pH do afluente bruto através da adição de álcali e também são introduzidos compostos contendo Nitrogênio e Fósforo.

O esquema global dos filtros obedece à configuração já mostrada na Figura 5.5, ou seja, foram utilizadas quatro unidades de secção quadrada, com distribuidor de vazão central. Cada filtro possui lado de 28,0 m e recheio de pedras com espessura

de 1,20 m. O tempo de detenção hidráulico é de 18 h e a DQO dos efluentes varia na faixa de 700 a 3500 mg/l.

Como tratamento preliminar, os despejos líquidos passam por peneira estática e por sistema de flotação por ar dissolvido. O material orgânico retirado nessas operações é utilizado na alimentação de animais.

Com relação à produção do lodo biológico nos filtros anaeróbios, é importante citar que esse sistema já se encontra em operação há cerca de três anos e, até o presente, não foi necessária qualquer descarga de lodo biológico.

Paula [15] desenvolveu estudo empregando filtro anaeróbio piloto, com recheio de pedras, para tratamento de efluentes de indústria de conservas (DQO variando na faixa de 60 a 600 mg/l) e concluiu que operando-se com tempo de detenção hidráulico de 16 horas, com taxa de carregamento orgânico de 1,0 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia, pode-se esperar remoção de DQO superior a 80%. Esse autor acrescenta que deve-se fazer controle do pH do efluente na faixa de 6,0 a 8,0, utilizando-se substância alcalina e, se possível, o bicarbonato de sódio.

## 6. ORIENTAÇÕES PARA PROJETO

### 6.1 - Generalidades

Nos itens anteriores, distribuídas nos diferentes assuntos, foram introduzidas muitas informações a respeito de dados que auxiliam a concepção preliminar de filtros anaeróbios.

Nos itens que se seguem serão apresentadas mais algumas considerações que ampliam os dados já fornecidos e complementam alguns aspectos interessantes que devem ser levados em consideração ao se projetar ou ao se estudar esse tipo de reator.

### 6.2 - Hidrodinâmica do Reator

É muito interessante que se executem ensaios com traçadores para verificar o comportamento hidrodinâmico dos filtros anaeróbios, antes de colocá-los em operação. Pequenas falhas no sistema de distribuição podem ser detectadas (e corrigidas) mesmo empregando-se traçadores coloridos de baixo custo, como azul de metileno.

Quando se desejar efetuar testes para avaliar o tipo de escoamento ou o comportamento hidrodinâmico com maior detalhe, recomenda-se usar outros traçadores químicos que oferecem melhor qualidade de resultados.

Para se avaliar se o comportamento do fluxo se aproxima mais daquele que ocorre em reator tipo "plug flow" ou de "mistura completa", ou ainda, para se estimar a porcentagem de espaços mortos, o autor deste texto recomenda o método de estudo de reatores com traçadores proposto por H.E. Hudson em seu livro intitulado "Water Clarification Processes: Practical Design and Evaluation" e publicado por Litton Company International Publishing, Inc., em 1981. Neste livro, esse método é empregado para as unidades comuns de estações de tratamento de água de abastecimento convencionais, porém, pode ser utilizado facilmente para filtros anaeróbios.

Em teste efetuado no filtro descrito neste trabalho e existente na referida fábrica de refrigerantes, concluiu-se que os filtros anaeróbios desta instalação apresentavam 55% do seu volume ativo funcionando com fluxo do tipo "plug flow", e em 45% predominava comportamento do tipo de reator de mistura completa.

Na realidade ainda existe muita polêmica entre pesquisadores sobre o comportamento hidrodinâmico de filtros anaeróbios, e, por isso, essa é uma parte de estudos desse tipo de reator que ainda merece maiores considerações em pesquisas futuras.

O melhor conhecimento das características hidrodinâmicas desse tipo de reator certamente levará, no futuro, à melhoria do projeto, da configuração geral e das características hidráulicas dos dispositivos de distribuição e de coleta de despejos.

### 6.3 - Cinética

A quase totalidade de estudos de modelos que tentam estudar a cinética do processo que ocorre em filtros anaeróbios, fundamentam-se na equação do tipo da de Monod, e nas equações de Fich. Em alguns casos avalia-se o processo anaeróbio como um todo, e, em situações menos frequentes, procura-se analisar o processo englobando-o (simplificadamente) em duas fases: acidogênese (que inclui as etapas anteriores) e o metanogênese.

A partida e a cinética do processo anaeróbio em reator de leito fixo submerso foram estudadas por muitos autores, porém, em particular podem ser citados os trabalhos de Droste et al e de Kennedy et al, nos quais constam uma base conceitual muito interessante e o desenvolvimento de modelo matemático de aplicação relativamente simples.

Esses autores operaram filtros anaeróbios em escala de laboratório, empregando recheio com placas planas, o que permitiu que, além do processo global, também pudesse ser estudada a evolução do biofilme aderido ao suporte.

Na Tabela 6.1 apresentam-se resultados de parâmetros de terminados pelos autores citados, apud [09].

TABELA 6.1 - Valores de parâmetros cinéticos determinados por Droste e Kennedy, apud [09], e reator anaeróbio de filme fixo.

PARÂMETRO	METANOGENESE	ACIDOGÊNESE
$\mu_m/Y_m$ (gDQO/gSSV.dia)	0,4 a 4,0	1,0 a 8,0
$K_s$ (g/l)	0,1 a 0,8	0,025 a 0,2
$Y_m$ (gSSV/gDQO)	0,12 a 0,35	0,05 a 0,20
$k_d$ (g/g.dia)	0,025 a 0,08	0,025 a 0,15

Na Tabela 6.1 são apresentados dados sobre os seguintes parâmetros:

$\mu_m$  : taxa máxima de crescimento específico dos microrganismos ( $\text{dia}^{-1}$ )

$Y_m$  : coeficiente de produção celular máxima (g/g)

$K_s$  : constante de saturação (g/l)

$k_d$  : taxa de decaimento endógeno ( $\text{dia}^{-1}$ ).

SSV: sólidos suspensos voláteis (g/l)

Note-se que o parâmetro Y está muito relacionado com a produção de lodo do sistema (massa de microrganismos produzida (g)/quantidade de DQO removida (g)). É muito importante destacar que o valor desse parâmetro varia muito com a composição do substrato.

Na Figura 6.1 mostra-se como ocorre a variação de Y em



função do tempo de retenção celular e com o tipo de substrato, a saber: carboidratos, proteínas e ácidos voláteis.

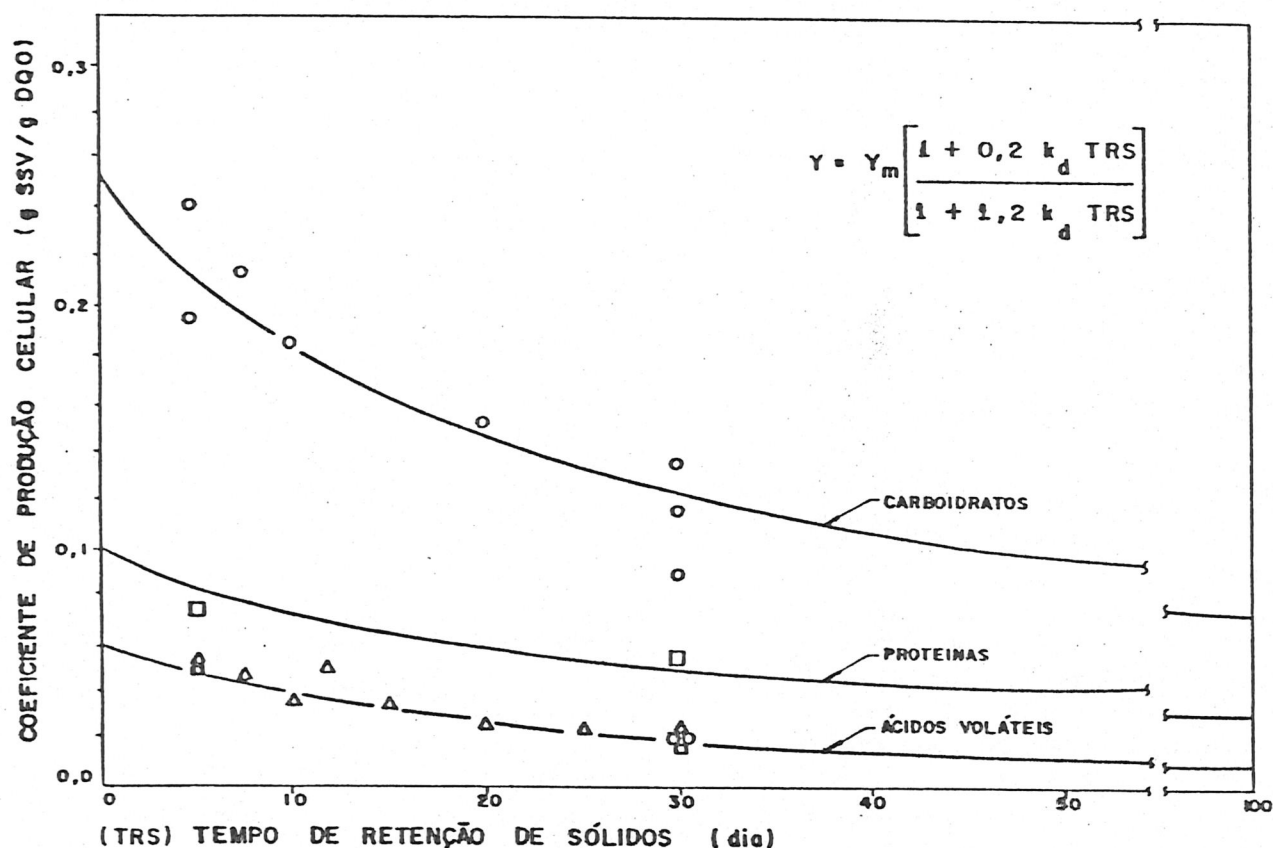


FIGURA 6.1 - Variação do coeficiente de produção celular em função do tempo de retenção celular e do substrato [23].

O conhecimento desses aspectos é muito importante, pois permite a avaliação da quantidade de lodo que será produzida e pode orientar o projetista na escolha de um determinado recheio. Por exemplo, caso se deseje empregar filtro para tratar substrato com DQO muito alta, decorrente de grandes quantidades de glicose, deve-se escolher recheio que minimize a possibilidade de entupimento. Por outro lado, caso se tenha a predominância de ácidos voláteis nos despejos, esse problema certamente não ocorrerá.

#### 6.4 - Influência do Tempo de Retenção Hidráulico

Segundo os resultados disponíveis e com base no conhecimento atual sobre os filtros anaeróbios, verifica-se que um dos parâmetros mais importantes para projeto desses reatores é o tempo de detenção hidráulico.

Young [23] propõe uma equação do tipo:

$$E = 100 (1 - S_k TDH^{-m})$$

em que:

- E : eficiência de remoção de DQO (%)  
 $S_k$  e m : coeficientes relacionados com a configuração do reator e tipo de recheio  
 TDH : tempo de detenção hidráulico (dia)

Na equação anterior, o parâmetro TDH pode ser substituído pelo valor  $TDH = S_o / TCO$ , em que:

- $S_o$  : concentração do afluente (kgDQO/m<sup>3</sup>)  
 TCO : taxa de carregamento orgânico (kgDQO/m<sup>3</sup>.dia)

Destaca-se o fato de que essas relações devem ser utilizadas com cautela, pois entre outras limitações, nota-se que não se inclui na mesma a influência do tempo de retenção celular. Contudo, essa equação pode auxiliar muito em estudos preliminares e em estudos comparativos [23].

#### 6.5 - Considerações Gerais Sobre Projeto

- Quando houver grande variação de vazão ou de concentração do afluente, sugere-se o uso de tanque de equalização.
- Além do sistema de distribuição e de coleta de efluentes, devem ser previstas descargas de fundo para drenagem regular de lodo. Essas descargas devem ser bem distribuídas e a velocidade nas canalizações deve ser superior a 1,0 m/s.
- Quando se utilizar recheio modular ou sintético, recomenda-se que nunca se empregue tempo de detenção inferior a 12 horas; e, para recheio com pedras, superior a 18 h. O tempo de detenção hidráulico correto deve ser determinado através da operação da instalação piloto.
- Uma análise de dados disponíveis na literatura mostra que

tempos de detenção hidráulicos superiores a 24 h, de maneira geral, permitem alcançar maiores eficiências.

- À medida que o tempo de detenção se aproxima do limite inferior compatível com uma determinada instalação, observa-se que ocorre maior "instabilidade" do processo, ou seja, os valores da eficiência do reator sofrem dispersão cada vez mais acentuada.
- Deve-se tentar manter tempo de retenção celular superior a 100 dias, pois assim sendo ter-se-ão melhores resultados de eficiência.
- Deve-se prever o recirculação em filtros anaeróbios nos seguintes casos: a) há variações sensíveis na qualidade do efluente bruto; b) o efluente bruto apresenta deficiência acentuada de nutrientes e/ou de alcalinidade; c) a concentração do efluente bruto é muito elevada (superior a 8.000 mg/l), segundo Young [23].
- Efluentes pouco concentrados, em termos de DQO, podem ser tratados em filtros anaeróbios desde que se empregue taxas de carregamento relativamente pequenas e adequadas do reator e do processo.

## 7. RECOMENDAÇÕES PARA PARTIDA E OPERAÇÃO

Naturalmente, como no reator estudado prevalece o processo anaeróbio, as recomendações gerais sobre sua partida e sua operação, devem respeitar todas aquelas inerentes a esse tipo de processo anaeróbio.

Não é o objetivo deste texto analisar as condições relacionadas fundamentalmente com o processo anaeróbio e sim o de abordar aspectos específicos relacionados com filtros anaeróbios. Assim sendo, a seguir serão apresentadas considerações objetivas e de caráter prático relacionadas com a partida e a operação desse tipo de reator.

Existe uma variedade muito grande de propostas na literatura técnica para se efetuar a partida de filtros anaeróbios.

Kennedy e Droste [10], por exemplo, efetuaram a partida de reatores de leito fixo, empregando diferentes materiais para recheio, em estudos desenvolvidos em escala de laboratório.

O afluente apresentava DQO de cerca de 10.000 mg/l e o reator foi inoculado com lodo previamente adaptado ao efluente pesquisado.

Durante a partida manteve-se uma razão de circulação de 4:1 (recirculação/afluente) e diariamente aumentava-se a carga de um incremento de 5 a 15%. Os parâmetros usados para controle foram, principalmente, a produção de gás metano e a concentração de ácidos voláteis no reator.

Para todos os suportes testados, após cerca de 40 dias, os reatores já alcançaram o regime permanente, encerrando assim, a fase de partida [10].

O uso da concentração de ácidos voláteis para controle desta e de outras fases de aplicação do reator é muito importante, pois, imediatamente após a ocorrência de qualquer agressão ao processo, que não seja "absorvida" pelo ecossistema, é manifestada pelo aumento da concentração de ácidos voláteis no líquido. Esse tipo de resposta pode servir de orientação para se avaliar, por exemplo, se se pode aumentar os incrementos de carga, durante a fase de partida. Por outro lado, aumentos incomuns da concentração de ácidos voláteis em reatores já adaptados podem significar problemas operacionais.

Quedas incomuns no valor do pH também podem estar associadas a agressões ao sistema ou a desequilíbrios no processo, porém, o tempo de resposta e a sensibilidade desse parâmetro não são tão expressivas como o que ocorre com as variações de ácidos voláteis.

Durante a fase de partida é recomendável que se efetue um acompanhamento mais cuidadoso dos reatores anaeróbios; assim sendo, sugere-se que se providencie pelo menos a seguinte frequência de determinações:

- 1 vez ao dia : produção de metano (se o reator for coberto), ácidos voláteis, alcalinidade, pH, temperatura.
- 2 vezes por semana: DQO
- 1 vez por semana : nutrientes e outras determinações
- 1 vez cada 20 dias : atividade específica metanogênica.

Na experiência prática do autor deste texto, há casos em que não se providenciou qualquer inóculo em partida para tra

tamento de efluentes industriais, e, em período de três meses o sistema já havia alcançado o seu regime dinâmico permanente ("steady state").

Há outros casos em que se usou inóculo extraído de digestores anaeróbios convencionais, e há casos em que se utilizou fezes frescas de bovinos. Qualquer que seja o inóculo, é muito importante que se efetue seu peneiramento, precedendo seu lançamento no filtro anaeróbio.

Quando se usa inóculo e se respeitam as condições ambientais ideais para o processo anareóbio, a partida é geralmente completada em períodos de poucas semanas.

Como regra grosseira e geral, recomenda-se as seguintes providências para a fase de partida de filtros anaeróbios:

- encher o reator com água de abastecimento;
- adicionar o inóculo e ajustar o pH da mistura com álcali para valor próximo a 7,0;
- iniciar a introdução dos efluentes a tratar, com vazão igual a 5 a 10% da vazão de projeto;
- se possível, usar recirculação;
- manter o pH sempre próximo a 7,0 através da adição de álcali, preferivelmente, bicarbonato de sódio;
- manter nutrientes nas relações ideais para processo anaeróbio;
- semanalmente, aumentar a vazão de despejos com incrementos da ordem de 5 a 10%;
- caso se note qualquer alteração brusca nos valores de ácidos voláteis ou de pH deve-se, imediatamente, reduzir (ou parar por algum tempo) a introdução de efluentes brutos;
- manter essa conduta até que o sistema alcance estabilidade no valor de ácidos voláteis, pH, DQO, etc, e esteja recebendo toda a vazão de projeto;
- importantíssimo: manter pH sempre próximo a 7,0.

No que se refere à operação dos filtros anaeróbios, depois de passado o período de partida, pode-se acrescentar que as dificuldades são muito reduzidas, pois o sistema se mantém estável com muita facilidade.

Para o controle do processo valem as mesmas recomendações apresentadas para a fase de partida, porém, as análises e

as determinações podem ser efetuadas em intervalos maiores.

Caso haja a detecção de algumas alterações nos valores usuais dessas determinações ou na eficiência do processo, devem-se providenciar outros tipos complementares de análises para se detectar eventuais problemas associados a deficiências nutricionais, inibição, toxicidade, etc.

Algumas vezes pode ser observado fenômeno posterior à partica, associado à redução de eficiência usual do sistema, que é superado comumente efetuando-se uma nova inoculação do reator.

Outro fato que merece ser destacado relaciona-se com a realização de descargas de lodo biológico.

Só deve ser descartada a quantidade estritamente necessária, pois não pode ser esquecido que o lodo contém microrganismos ativos que participam do processo de degradação dos contaminantes da água residuária.

O descarte de lodo, sempre que possível, deve ser efetuado de maneira a possibilitar tempo médio de retenção celular superior a 100 dias.

O descarte indiscriminado de lodo pode levar o processo em desenvolvimento no reator até ao colapso.



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BELLI FILHO, P. Remoção de Coliformes e de Carga Orgânica em um Reator Anaeróbio Piloto não Convencional. São Carlos, SHS-EESC-USP, 1985. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. 1985. 110 p.
- [2] CAMPOS, J.R. Uso de Outros Tipos de Reatores Anaeróbios para Efluentes líquidos. Encontro de Especialistas em Digestão Anaeróbia. São Paulo, 1985.
- [3] CAMPOS, J.R. & DIAS, E.G. Potencialidade do Filtro Anaeróbio. Revista DAE, vol. 49, nº 154, 29-33, Jan.-Mar., 1989.
- [4] CAMPOS, J.R.; FORESTI, E. e CAMACHO, R.D.P. Waterwater A naerobic Treatment of Food Processing Industries: Two Study Cases. Water Science and Technology, Vol. 18: 12 87 - 97, 1986.
- [5] CAMPOS, J.R.; RODRIGUES, B.A.S. e FORESTI, E. Emprego de Filtro Anaeróbio para Tratamento de Efluentes Líquidos de Indústria de Conservas de carne. I Encontro Sobre Tratamento Anareóbio de Efluentes. Rio de Janeiro, de zembro, 1985.
- [6] DROSTE, R.L. & KENNEDY, K.J. Steady State Kinetics of A-naerobic Downflow Stationary Fixed Film Reactors. Wa-ter Science Technology, nº 19, 275-283, 1987.
- [7] ECTA - Engenharia, Consultoria e Tecnologia das Águas S.C. Ltda. Diversos Projetos de Sistemas de Tratamento de Efluentes Industriais (Arquivo). São Carlos, SP, Bra-sil.
- [8] FORESTI, E.; DI BERNARDO, L. e CAMPOS, J.R. Filtro Anaeróbio Piloto para Tratamento das Águas Residuárias de uma Indústria de Conservas de Carne. XVI Congresso In-teramericano de Engenharia Sanitária, Santo Domingo, Re-pública Dominicana, fevereiro, 1978.
- [9] GUIMARÃES, H.G.D. Avaliação de Desempenho de Filtro Anaeróbio no Tratamento de Efluentes Líquidos de uma Indús-

- tria de Refrigerantes. São Carlos, SHS-EESC-USP, 1989, Dissertação (Mestardo). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1989. 166 p.
- [10] KENNEDY, K.J. e DROSTE, R.L. Startup of Anaerobic Down-flow Stationary Fixed Film (DSFF) Reactors. Biotechnology and Bioengineering, vol. XXVII, 1152-1165, 1985.
- [11] LETTINGA, G. et alii. The Use of a Floating Settling Granular Sludge Bed Reactor in Anaerobic Treatment. Prof. of the European Symposium: Anaerobic Wastewater Treatment, (411-429), Netherlands, November, 1983.
- [12] McCARTY, P.L. Anaerobic Treatment of Soluble Wastes. Stanford University, 1966.
- [13] METCALF & EDDY, Inc. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal Reuse 2nd. ed. USA, McGraw-Hill Book Company, 1979. 920 p.
- [14] OH, Y.M. e YANG, B.S. Anaerobic Wastewater Treatment Using Floating Media (Development of the Upflow Floating Anaerobic Filter Process). Water Symposium Technology, vol. 18, Tokio, 225-237, 1986.
- [15] PAULA, D.R. Desempenho de um Filtro Anaeróbio Piloto no Tratamento de Águas Residuárias de uma Indústria de Conservas Alimentícias. São Carlos, 1985. SHS-EESC - USP, 1985. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. 1985. 123 p.
- [16] PIVELLI, R.P. Estudos sobre a Aplicabilidade de Filtro Anaeróbio Piloto no Tratamento de Despejos Industriais de Processamento de Batata. São Carlos, SHS-EESC-USP, 1983. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1983. 112 p.
- [17] RODA, L.S.; PAWLOWSKY, U.; PATZA, M.G.B. Filtro Anaeróbio para Tratamento de Despejos de Laticínios. 13º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Maceió, Alagoas, agosto, 1985.
- [18] RODRIGUES, B.A.S., DANIEL, D.D., VIOTO, S. Aplicação de Filtro Anaeróbio de Fluxo Ascendente no Tratamento de Efluentes Líquidos de Indústria de Laticínios. I Encon

tro Sobre Tratamento Anaeróbio de Efluentes, Rio de Janeiro, dezembro, 1986.

- [19] SPEECE, R.P. Anaerobic Technology for Industrial Wastewater Treatment. Environ. Science Technology, vol. 17, nº 9, 416A-427A, 1983.
- [20] VAN DER BERG, L. e KENNEDY, K.J. Potential Use of Anaerobic Processes for Industrial Waste Treatment. Seminar on Anaerobic Wastewater Treatment and Energy Recovery, Pittsburg, Pennsylvania - USA, 30 p., 1981.
- [21] VIEIRA, S.M.M., SOBRINHO, P.A. Resultados de Operação e Recomendações para o Projeto de Sistema de Decanto-Digestor e Filtro Anareóbio para o Tratamento de Esgotos Sanitários. Revista DAE, nº 135, 51-57, dezembro, 1983.
- [22] YOUNG, J.C. Factors Affecting Waste Treatment in Fixed Film Anaerobic Processes. Engineering Research Institute, Iowa, State University, August, 1971.
- [23] YOUNG, J.C. Factor Affecting the Design and Performance of Upflow Anaerobic Filters. University of Arkansas, Fayetteville. march, 1990. 37 p.
- [24] YOUNG, J.C. e McCARTY, P.L. The Anaerobic Filter for Waste Treatment. Stanford University Technical Report nº 87, 1968.
- [25] YOUNG, J.C. e McCARTY, P.L. The Anaerobic Filter for Waste Treatment. Journal Water Pollution Control Federation, vol. 41, nº 05, (160-173), 1969.