



REDE COOPERATIVA DE PESQUISAS

TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS POR PROCESSO ANAERÓBIO E DISPOSIÇÃO CONTROLADA NO SOLO

INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES

PUC-PR, UFMG, UFPb, UFRGS, UFRN, UNICAMP, USP

Capítulo 8

Reator Anaeróbico de Leito Expandido/Fluidificado

*José Roberto Campos e
José Almir Rodrigues Pereira*

8.1 Introdução

De maneira geral, os reatores anaeróbios empregados atualmente ainda não têm sua concepção otimizada, em termos de condições hidrodinâmicas, apesar de apresentarem boas condições de funcionamento sob critérios usuais de projeto. Contudo, os reatores de leito expandido/fluidificado são aqueles que oferecem melhores características, sob esse aspecto.

Por esse motivo, e outros que serão abordados neste capítulo, os reatores de leito expandido/fluidificado permitem que sejam empregados, em seu projeto, tempos de detenção hidráulica menores que aqueles utilizados para dimensionamento de outros reatores anaeróbios utilizados atualmente.

Nos reatores de leito expandido/fluidificado, os microrganismos desenvolvem-se aderidos a partículas inertes (material suporte) que permanecem “suspensas” pelo resultado do movimento vertical ascendente da massa líquida. Há, inclusive, reatores nos quais se utiliza escoamento vertical descendente, quando se empregam partículas suporte com densidade menor que 1 (um).

Ao compará-los, por exemplo, com reatores UASB, verifica-se que as velocidades ascensionais podem ser muito maiores, pois no caso de reatores de manta de lodo (sem material suporte), as biopartículas ou grânulos apresentam densidade próxima a 1 (um). Como os grânulos dos reatores UASB não têm densidade elevada, caso se deseje aumentar a velocidade ascensional (melhorando a transferência de massa, ou seja, o acesso do substrato aos microrganismos) pode ocorrer o arraste dos grânulos no efluente do reator.

O reator de leito fluidificado aplicado ao tratamento de águas residuárias foi desenvolvido por Jewell et al. (1981) nos anos 70, visando ao aumento de retenção de grande quantidade de biomassa e, ao mesmo tempo, eliminando problemas de colmatação ocasionados pelo acúmulo de materiais sólidos nos interstícios, como ocorre em reatores de leito fixo.

Sutton & Mishra (1994) relatam que reatores de leito fluidificado, com carvão ativado como material suporte, podem apresentar concentração 5 a 10 vezes maior de biomassa que nos bioreatores tradicionais, como nos tanques de aeração de sistemas de lodos ativados, por exemplo.

Em 1981, após seminário realizado em Manchester, Inglaterra, o reator de leito fluidificado foi considerado como o desenvolvimento mais significativo no campo do tratamento de águas residuárias nos últimos 50 anos. Contudo, naquela época não havia, em escala real, nenhum reator desse tipo tratando águas residuárias, em escala “real”. (Cooper & Atkinson apud Sutton & Mishra, 1994).

Até a metade da década de 1980, poucos eram os centros de pesquisa que investigavam a potencialidade dos reatores de leito expandido/fluidificado para tratamento de esgoto sanitário, sendo, na maioria dos casos, utilizados areia ou carvão ativado como meio suporte.

A potencialidade desse tipo de reator vem despertando o interesse de pesquisadores, indústrias e empresas de saneamento, o que pode ser confirmado pelo crescente número de publicações sobre o desenvolvimento tecnológico de materiais alternativos para meio suporte, como polietileno, polipropileno, polivinilclorado (PVC) e terra diatomácea, e sobre trabalhos experimentais enfocando a operação desse tipo de reator.

Atualmente, já há muitos desses reatores em operação no mundo, sendo a maioria deles operada sob condição aeróbia. Contudo, no Brasil e em outros países, desde meados da década de 1980, vêm sendo realizadas pesquisas e aplicações visando conhecer a potencialidade dessa alternativa para tratamento de esgotos, envolvendo também o processo anaeróbio.

8.2 Configuração de Reatores de Leito Expandido/Fluidificado

Em princípio pode-se considerar que os reatores de leito expandido/fluidificado são classificados como reatores de leito móvel e filme fixo.

O reator de leito expandido/fluidificado é um reator vertical, de fluxo ascendente, em que é mantida velocidade de escoamento ascensional adequada para promover a suspensão das partículas componentes do leito (com tamanho entre 0,2 e 2,0 mm, geralmente), as quais servem de suporte para os consórcios de microrganismos que realizam a decomposição dos materiais degradáveis, presentes no afluente.

A pequena dimensão das partículas proporciona grande superfície específica para fixação dos microrganismos, ao mesmo tempo que sua densidade, sendo maior que a dos próprios microrganismos, possibilita a aplicação de velocidades relativamente altas, sem ocorrer seu arraste pelo efluente.

A película que envolve os grãos, em geral de pequena espessura, minimiza ou elimina a existência de camadas inativas como ocorre em filtros anaeróbios e filtros biológicos aeróbios (Jewell, 1981), permitindo, assim, a difusão de substrato ao interior das mesmas.

Os reatores de leito expandido/fluidificado são constituídos por região de reação, região de retenção de sólidos em suspensão, dispositivo de coleta de biogás e sistema de recirculação, conforme esquematizado na Figura 8.1.

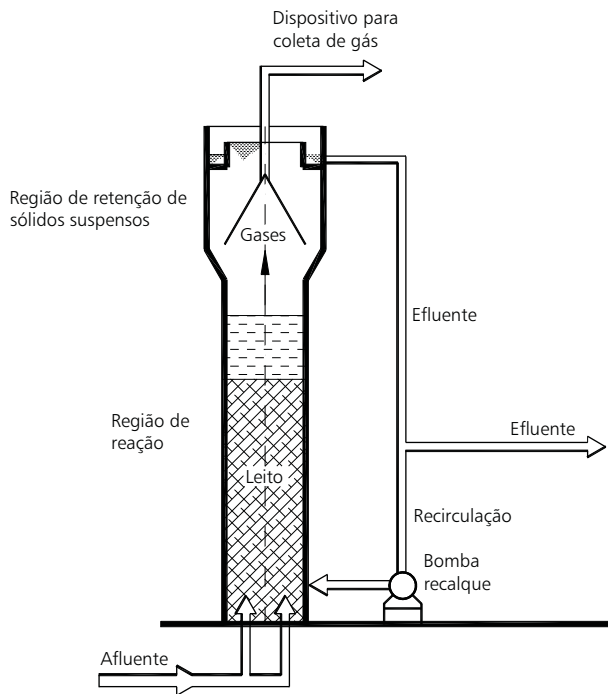


Figura 8.1 Esquema do reator de leito fluidificado/expandido.

A região de reação consiste na parte do reator ocupada pelo leito na qual ocorre a degradação do substrato.

A região de retenção de sólidos suspensos geralmente é incluída no próprio reator ou pode constituir uma unidade independente, sendo empregada para evitar o carregamento de partículas suspensas no efluente tratado. Essa região é imprescindível, pois evita a perda de biopartículas (Speece, 1995).

O dispositivo de coleta de biogás é semelhante ao utilizado nos reatores UASB, sendo, na maioria dos reatores, instalado na parte superior da região de reação.

A suspensão das partículas do leito é conseguida com o estabelecimento de velocidade de escoamento ascensional adequada, dependendo da dimensão e da densidade das biopartículas (material suporte + biofilme). Como, na maioria dos reatores, a vazão afluyente de água residuária é relacionada com tempo de detenção hidráulica, o emprego do sistema de recirculação de parcela do efluente é que garante a flexibilidade e segurança durante a operação do reator, em termos de se obterem velocidades de escoamento ascensional adequadas para expansão/fluidificação do leito.

Na Figura 8.2 é mostrado um reator de leito expandido/fluidificado com unidade sobreposta para retenção de partículas.



Figura 8.2 Reator anaeróbio de leito expandido/fluidificado, com altura total de 12,0 m (SHS-EESC-USP, São Carlos, SP, Brasil).

8.3 Aspectos Positivos e Negativos

Os seguintes aspectos positivos dos reatores de leito expandido/fluidificado podem ser destacados:

- A alta concentração de biomassa ativa aderida permite significativa retenção de microrganismos e grande eficiência na conversão de substratos orgânicos biodegradáveis.
- O custo de implantação é reduzido em função da pequena área necessária e dos volumes menores, em relação aos de outros reatores, para tratar a mesma vazão de águas residuárias.
- A pequena espessura do biofilme facilita a difusão do substrato.
- A movimentação do leito suporte evita problemas de colmatação.
- A grande área específica da biopartícula ocasiona boas condições de transferência de massa.
- A facilidade para introduzir material novo ao leito e para remoção de sólidos gerados (lodo).

Metcalf & Eddy (1991) destacam que esses reatores podem ser utilizados para o tratamento de esgoto sanitário com tempos de detenção hidráulica pequenos, por apresentarem concentração de biomassa, que pode alcançar até 40.000 mg/l.

A grande maioria dos autores cita como aspectos negativos dos reatores anaeróbios de leito expandido/fluidificado:

- O pequeno número de reatores operando em escala real que possa servir de base para novos projetos.
- O consumo de energia elétrica maior do que o de outros tipos mais simples de reatores anaeróbios.

É inquestionável que o *scale-up* desses reatores ainda é pouco conhecido quando comparado com o dos outros reatores anaeróbios, porém os poucos reatores em escala real, em operação, estão comprovando a grande potencialidade de aplicação desse tipo de configuração para o tratamento de águas residuárias.

Droste (1997) cita que a expansão/fluidificação requer mais energia que outros reatores concebidos com base em processos anaeróbios.

Contudo, isso pode ser atenuado pela utilização de partículas suporte com densidade próxima a da densidade da água, fato esse comprovado experimentalmente pelos autores deste capítulo.

Diez Blanco et al. (1995) consideram que a expansão do leito é uma das variáveis mais importantes para a concepção de reator e de leito fluidificado, pois está associada ao tempo de detenção hidráulica na zona de biocatalização e vazão de recirculação, sendo, assim, diretamente relacionada com os custos de bombeamento no sistema.

8.4 Expansão e Fluidificação do Leito

A movimentação das partículas suporte é de fundamental importância para o controle operacional, a formação dos consórcios de microrganismos e a eficiência do reator.

Na Figura 8.3, são mostradas de forma esquemática as modificações na região ocupada pelo leito que podem ocorrer durante a operação do reator com partículas suspensas.

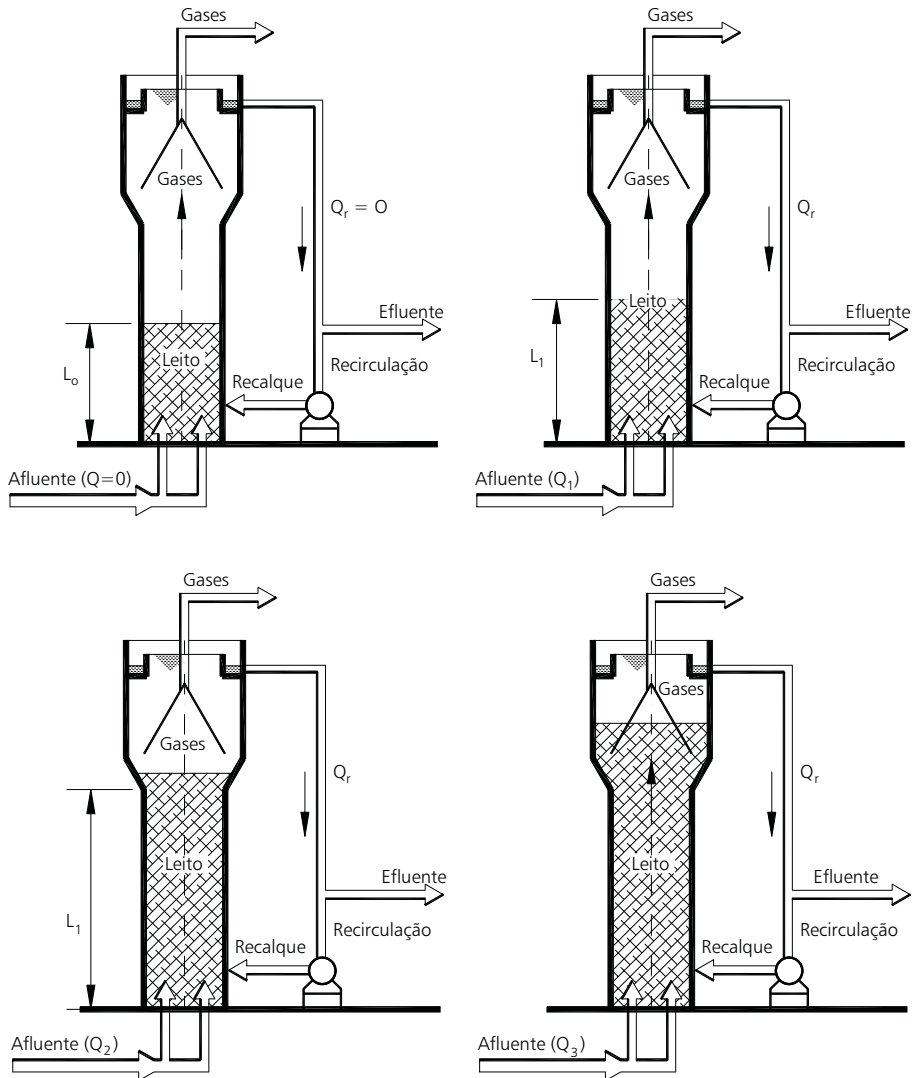


Figura 8.3 Esquema de diferentes situações do leito suporte em reator de leito expandido/fluidificado.

O leito encontra-se estático quando o reator não está em operação (velocidade ascensional nula), tendo altura inicial L_0 . Com o início da alimentação com água residuária, com baixa vazão, ocorre pequena movimentação e acomodação inicial das partículas, porém sem que ainda ocorra a sua suspensão, sendo a altura do leito, ainda muito próxima a L_0 .

O aumento da vazão de alimentação (Q_1) provoca aumento da velocidade ascensional e , com isso, a elevação na superfície do leito para a altura L_1 .

A continuidade do aumento da velocidade ascensional pode provocar aumentos sucessivos na espessura do leito. Contudo, pode ser alcançada determinada situação em que passa a ocorrer o arraste de partículas da região de reação para a região de retenção de sólidos se a vazão total ($Q_2 + Q_r$) for aumentada significativamente.

Caso o aumento da vazão afluyente prossiga (Q_3), a região de retenção de sólidos não será capaz de reter as partículas que ali se encontram, ocasionando o carreamento de biopartículas pelo efluente do reator.

Há grande semelhança na fenomenologia da expansão desse tipo de leito com a expansão do leito de areia que ocorre na lavagem de filtros de estações de tratamento de água (ETA)

Para a lavagem de filtros de ETAs, Di Bernardo (1993) comenta que o aumento progressivo da velocidade ascensional da massa líquida ocasiona três situações distintas e seqüenciais:

- a) Em velocidade ascensional (V_{asc}) baixa, a porosidade do leito mantém-se inalterada.
- b) Aumentando-se um pouco a V_{asc} , as partículas tendem a ter sua posição modificada, porém sem ainda fluidificar o leito.
- c) Continuando a aumentar a V_{asc} , ocorre a fluidificação das partículas.

Assim, o aumento gradativo de escoamento que proporciona a suspensão do leito ocorre até ser alcançada a condição em que as forças de arraste e o empuxo se igualam ao peso das partículas. A partir desse equilíbrio de forças é iniciada a fluidificação.

No caso dos reatores de leito expandido/fluidificado, a determinação das condições em que ocorre o equilíbrio de forças é a chave para o bom desempenho operacional, sendo, então, fundamental o controle da velocidade ascensional do escoamento.

Como em qualquer reator, para esse caso também há um tempo de detenção hidráulica a ser respeitado na operação. Esse parâmetro é, juntamente com a espessura do leito e as forças de cisalhamento que provocam o desprendimento da biomassa aderida, um limitador da velocidade ascensional da massa líquida.

A velocidade adequada para expansão/fluidificação pode ser superior àquela velocidade compatível com a velocidade do afluente, limitada pelo tempo de detenção hidráulica.

A recirculação de parte do efluente do reator possibilita que a suspensão desejada do leito suporte ocorra respeitando um tempo de detenção hidráulica apropriado. Na Figura 8.4 são esquematicamente representadas duas possibilidades de recirculação.

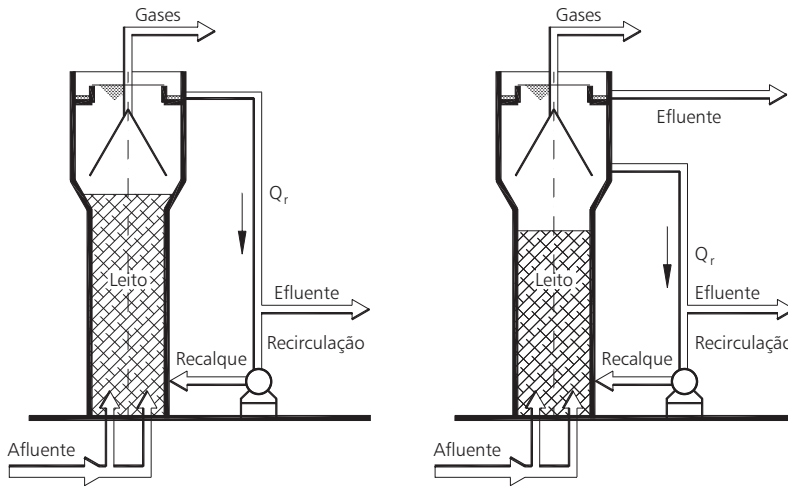


Figura 8.4 Tipos de recirculação em reator de leito expandido/fluidificado.

Desse modo, a flexibilidade e o controle operacional dos reatores de leito expandido/fluidificado são centralizados na faixa projetada para a taxa de recirculação.

Em pesquisas em escala de laboratório há grande variação na taxa de recirculação, sendo a vazão de recirculação de 0,5 até 100 vezes a vazão de água residuária bruta afluente. Os autores deste capítulo, operando reator de leito expandido, em escala real, encontraram os melhores resultados quando utilizaram taxa de recirculação igual a 0,85, com leito suporte constituído por partículas de carvão ativado.

Evidentemente, há muitos fatores que afetam o processo, de tal forma que as vazões de água residuária e de recirculação mais apropriadas devem ser estudadas, caso a caso.

As denominações dos reatores com leito suporte móvel ainda não estão unificadas na literatura técnica. Isso pode ocorrer pela recente e progressiva evolução das configurações desses reatores, pelo desencontro de autores ou pelos jargões técnicos utilizados em diferentes áreas do conhecimento.

No Brasil, é comum, na área de engenharia sanitária, o uso das palavras fluidificação e fluidização e, nas áreas de química e de materiais, é comum a utilização da palavra fluidização.

A maneira mais simples de denominar esse tipo de reator é como sendo de leito expandido ou de leito fluidificado, fundamentando-se no aumento percentual da altura do leito em relação à altura inicial. Contudo, mesmo esse critério não obteve consenso entre os diferentes autores.

Jewell et al. (1981) consideram que um reator é de leito expandido quando ocorre expansão da ordem de 10% a 20% do leito estático inicial, enquanto reator de leito fluidificado seria aquele que apresenta expansão superior a 100%.

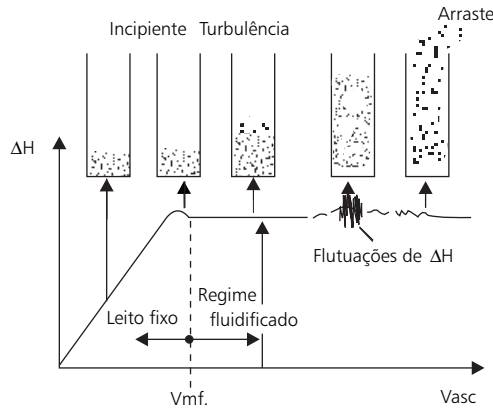
Outros autores consideram que, quando ocorre expansão de até aproximadamente 20% do leito estático, trata-se de reatores de leito expandido, enquanto aumentos superiores a 30% são relacionados com reatores de leito fluidificado.

A denominação mais correta é a que determina a expansão/fluidificação do leito em função da velocidade mínima de fluidificação (V_{mf}), sendo utilizada por autores como Cleasby & Fan (1981) e Droste (1997).

Nessa conceituação, o leito é considerado expandido quando o aumento da perda de carga é linear ao aumento da velocidade ascensional, sendo considerado fluidificado quando a perda de carga é constante, independente do aumento da velocidade ascensional.

Teoricamente, há um ponto de transição – ponto de fluidificação incipiente – entre o comportamento expandido ou fluidificado do leito. Na prática, esse ponto é de difícil determinação, sendo mais adequado observar a região em que ocorre essa transição.

Kunii & Levenspiel (1969), Cleasby & Fan (1981), Di Bernardo (1993) e Droste (1997) são alguns dos autores que observam que a fluidificação de um meio granular ocorre quando a perda de carga no leito granular (ΔH) permanece praticamente constante, independente do aumento da velocidade ascensional, sendo tal comportamento observado a partir do ponto de fluidificação incipiente, conforme representado esquematicamente na Figura 8.5.



Fonte: Adaptado de Howard, J.R. (1989).

Figura 8.5 Esquema da expansão/fluidificação do leito suporte.

Wiecheteck (1996) observa que no ponto de transição ocorre a velocidade mínima de fluidificação, a qual, segundo Droste (1997), pode ser obtida teoricamente pelo emprego da equação de Ergun, sendo, para isso, essencial a caracterização das partículas componentes do leito.

Howard (1989) constatou que é possível verificar que, a partir de determinado ponto, passa a haver bolsões de gás no leito, ocorrendo em seguida o carreamento de partículas no efluente, principalmente se o processo empregado é o aeróbio, e em reatores em escala de laboratório.

Nos reatores anaeróbios de leito fluidificado não chega a ser significativa a formação de bolsões de gás. Independente disso, há flutuação da perda de carga no instante em que o leito inicia sua expansão.

8.5 Materiais Usados como Partículas Suporte

Partículas de areia e de carvão ativado geralmente são utilizadas como suporte de biofilme em reatores de leito expandido/fluidificado. Contudo, outros materiais podem ser empregados, sendo que, para isso, devem apresentar as seguintes características principais:

- Pequenas dimensões.
- Superfície adequada para a aderência dos microrganismos.
- Facilidade de obtenção e custo adequado de aquisição.

- Densidade pouco superior à da água (exceção para reatores com fluxo descendente).
- Resistência à abrasão.
- Material não tóxico.

A pequena dimensão dos grãos proporciona grande superfície específica para fixação dos microrganismos, ao mesmo tempo que sua densidade, sendo maior que a dos próprios microrganismos, possibilita aplicação de cargas hidráulicas relativamente grandes (Akutsu, 1985).

O aumento da atividade metanogênica em diferentes materiais suporte, como poliuretano, bentonita, terra diatomácea, sepiolita e polivinilclorado (PVC), foi tema de pesquisa de Sanchez et al. (1994).

Campos (1989), Araújo (1995) e Terán (1995), com base em pesquisas com reatores anaeróbios de leito expandido/fluidificado, em escala piloto, alimentados com esgoto sanitário sintético, observaram formações adequadas de biofilme em partículas de areia com tamanho médio de 0,2 mm.

Com a utilização de partículas suporte, é conseguido o aumento do tempo médio de permanência da biomassa ativa no interior do reator.

A superfície do suporte deve sempre ser analisada quanto à porosidade, rugosidade e área específica disponível para aderência de microrganismos. A porosidade e a grande superfície específica do carvão ativado, por exemplo, exercem papel muito importante no início da colonização.

Pereira et al. (1997), em escala de laboratório, estudaram a evolução da colonização por microrganismos em diferentes partículas nos 30 dias iniciais de alimentação com esgotos sanitários, tendo constatado ter sido muito mais rápida a colonização nas partículas de carvão ativado do que em partículas de poliamida e PBT.

Os microrganismos primeiramente ocuparam os microporos das partículas de carvão ativado para, então, mais efetivamente, colonizarem a superfície externa. Na Figura 8.6 é mostrada a presença de microrganismos em microporos de uma das partículas de carvão ativado analisadas durante o experimento, em que se verifica o início da colonização da partícula suporte.

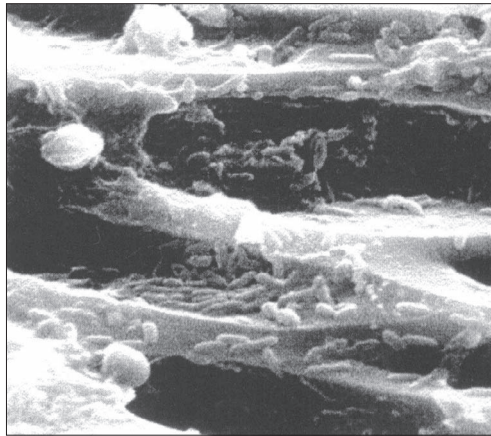


Figura 8.6 Microrganismos nos poros de uma partícula de carvão ativado.

8.6 Formação do Biofilme

A fixação de bactérias à superfície suporte parece ocorrer por meio de uma matriz de polímeros, principalmente polissacarídeos, que efetuam a aderência inicial das células à superfície do meio suporte (Vieira, 1989).

O conjunto formado pelos microrganismos (mesma espécie ou não), as substâncias relacionadas com a aderência e as que servem de substrato, os subprodutos do metabolismo, os materiais inertes e o meio suporte são denominados biofilme.

O biofilme pode conter porcentagem de polímeros extracelulares que varia de 50% a mais de 90% e que têm ação importante na estrutura e na função do complexo. À essa composição de polímeros extracelulares, Costerton apud Hamilton (1987) denominaram *glicocalyx*, o qual pode ter valor significativo em relação à proteção das bactérias de eventuais ações negativas do meio (surfactantes, antibióticos, metais pesados etc.). É muito importante salientar que as bactérias podem produzir diferentes polímeros, com diferentes velocidades, durante suas fases do ciclo de crescimento.

Diversos fatores exercem influência no início da formação do biofilme, como: natureza da superfície, concentração de nutrientes, atividade metabólica dos anismos fixos (sésseis) e livres (planctônicos) etc. Contudo, após a evolução inicial, a importância da natureza da superfície diminui consideravelmente (Hamilton, 1987).

Uma possível explicação para a evolução do desenvolvimento de biofilmes em reatores de leito expandido/fluidificado é:

- A partícula suporte antes da partida do reator apresenta superfície isenta de microrganismos ou substâncias aderidas.

- Com a partida do reator, a partícula é envolvida pela água residuária. Conforme as características do material suporte, podem ocorrer na superfície:
 - (a) ligações químicas ou físicas com substâncias coloidais ou dissolvidas;
 - (b) deposição de substâncias sólidas de pequena dimensão.
- As substâncias presentes na superfície favorecem a aproximação dos microrganismos, os quais liberam produtos celulares para:
 - (c) promoverem sua fixação na superfície da partícula suporte;
 - (d) iniciarem a degradação das substâncias a que servem.
- A interação substrato–produtos celulares–superfície da partícula possibilita a intensificação do metabolismo dos microrganismos, com conseqüente liberação de novos produtos celulares.
- Os novos produtos celulares podem, eventualmente, servir de substrato para outros gêneros/espécies de microrganismos, o que favorece a aproximação e aderência destes.

A contínua alimentação de substrato possibilita que ocorra constante renovação dos produtos celulares, resultando na aproximação de maior número de microrganismos.

Assim, a tendência do biofilme é o crescimento até que o mesmo alcance “equilíbrio dinâmico aparente”. Essa situação ocorre quando:

- é adequada a difusão do substrato utilizado e dos produtos celulares liberados pelos microrganismos;
- há balanço energético/nutricional entre os microrganismos presentes nas superfícies interna e externa do biofilme;
- ocorre equilíbrio entre a geração e o desaparecimento e arraste para o meio líquido de células de microrganismos;
- não há forças hidrodinâmicas (de arraste) superiores à força de aderência.

Esse “equilíbrio dinâmico aparente” é praticamente impossível de ser encontrado, pois os aspectos citados são relacionados entre si, dependendo ainda das condições operacionais e da composição da água residuária.

Independente das características distintas do biofilme, já há algumas explicações coincidentes sobre as etapas de aproximação, aderência e desenvolvimento dos microrganismos em diferentes partículas suporte.

Fletcher (1979) comenta que as bactérias podem alcançar a superfície da partícula suporte pelo movimento Browniano, pelas correntes líquidas ou pela sua própria capacidade de movimentação.

Após a “aderência irreversível”, desde que haja balanço apropriado de micro e macronutrientes, o biofilme continua evoluindo, e dada a dificuldade crescente de

difusão de gases e líquidos no sentido de fora para dentro e vice-versa, começam a prevalecer outros fenômenos que alteram essa estrutura

Araújo (1995) observa que a aderência do(s) microrganismo(s) na partícula suporte pode ser reversível ou irreversível, sendo que a bactéria não apresenta mais movimento browniano após a aderência de forma irreversível, somente podendo ser removida pela ação de forças muito fortes de cisalhamento.

As forças de cisalhamento que podem alterar a estrutura, ou até mesmo danificar o biofilme, são relacionadas com a velocidade ascensional e com a intensidade dos contatos das partículas entre si e com as paredes do reator.

A distribuição espacial dos microrganismos e a forma dos biofilmes nos materiais suporte são bastante distintas. Campos (1989) e Benthum et al. (1995) relatam que os biofilmes não apresentam superfície lisa e nem distribuição uniforme de microrganismos.

Na Figura 8.7 é apresentado um grão de areia de 0,2 mm, envolto por biofilme.



Fonte: Campos (1989).

Figura 8.7 Partícula suporte (tamanho: 0,2 mm) envolvida por biofilme em ambiente anaeróbio.

8.7 Aspectos Construtivos

Materiais

O Reator Anaeróbio de Leito Expandido/Fluidificado pode ser construído em concreto, fibra de vidro reforçada ou chapa metálica. Os reatores de fibra de vidro são menos atingidos pelos compostos agressivos presentes no ambiente anaeróbio, contudo o mesmo não ocorre com os reatores de concreto ou de chapa metálica, que precisam de revestimento especial para sua proteção.

O processo de fabricação e a segurança estrutural impõem limites para as dimensões dos reatores de fibra de vidro, o que ocorre em menor intensidade com os reatores fabricados em chapa metálica e praticamente não afeta os reatores de concreto.

Independente do tipo de material, o reator deve apresentar uma base sólida, pois a área para distribuição da carga (peso do reator + peso do material suporte + peso da massa líquida) é relativamente pequena. Nesse ponto, os reatores de fibra de vidro apresentam-se mais vantajosos, pois são mais leves que os de chapa metálica e de concreto.

Outro aspecto que deve ser considerado para os reatores executados em fibra de vidro e chapa metálica são as exigências dos responsáveis pelo transporte, pois as carretas utilizadas no transporte rodoviário são limitadas em termos de comprimento, largura, altura e peso.

Além disso, os reatores fabricados precisam ser içados e acoplados em base fixada no concreto, sendo normalmente necessária a utilização de guindastes para a realização desse serviço. Para os maiores reatores de chapa metálica podem ser necessários dois ou mais guindastes para a correta instalação na base, o que resulta em custo adicional.

Há a possibilidade de os reatores fabricados serem montados no próprio local, o que pode ser a solução para a utilização de reatores com dimensões maiores que as exigidas para o transporte rodoviário, bem como para o atendimento de projetos com diferentes vazões.

Na Tabela 8.1 são comparadas as vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de materiais

Há, ainda, a possibilidade de combinação de materiais para a construção/fabricação dos reatores de leito expandido. A combinação da fibra de vidro com o concreto já vem sendo aplicada, em escala real, em reatores UASB, sendo a fibra de vidro utilizada para facilitar a construção e o nivelamento dos separadores GLS (frações sólido-líquida e gasosa) dos defletores.

Tabela 8.1 Comparação entre diferentes tipos de materiais utilizados na construção de reatores anaeróbios de leito expandido/fluidificado.

Material	Chapa metálica	Fibra de vidro	Concreto
Revestimento especial	preciso	não	preciso
Limitação de dimensões	sim	bastante	não
Peso	médio	menor	maior
Fundação	atenção	atenção	muita atenção
Fabricação em série	sim	sim	não
Dimensões para vazão de projeto	nem sempre	nem sempre	sempre
Custo construção/fabricação*	médio	maior	menor
Içamento	preciso	preciso	não preciso
Construção na ETE	possível	possível	possível
Mudança de local após instalado	possível	possível	impossível
Possibilidade de modulação	sim	sim	sim
Operação em escala real	conhecida	desconhecida	conhecida

*Somente custo do reator, não sendo considerado o custo de fundação.

A combinação de materiais parece ser campo promissor na aplicação dos reatores anaeróbios de leito expandido/fluidificado, pois possibilita maior segurança estrutural do reator e, em alguns casos, redução do custo de fabricação/construção.

Independente do tipo de material, no projeto de um reator anaeróbio de leito expandido/fluidificado deve ser considerada a possibilidade de modulação, para permitir maior flexibilidade operacional e menor custo inicial de investimento.

Unidades Complementares e Equipamentos

Para o tratamento biológico anaeróbio é necessária a construção de unidade de gradeamento, poço de entrada de esgoto sanitário, estação elevatória de esgoto bruto, unidade de retenção de sólidos grosseiros, unidade de retenção de areia e unidade de remoção de óleos e graxas (depende da composição do esgoto sanitário).

Quando se utiliza reator anaeróbio de leito expandido/fluidificado, ainda é necessária a construção de um poço de recirculação e de um conjunto motor-bomba para recirculação de parte do efluente tratado.

8.8 Aspectos Operacionais

Partida

No caso dos reatores de leito expandido é esperado o desenvolvimento predominante de consórcios de microrganismos na forma de biofilmes, ou seja, aderidos a um material suporte.

A entrada em operação (partida) desse tipo de reator poder ocorrer com:

- utilização ou não de inóculo (lodo peneirado de fossa séptica, de reator UASB ou de filtro anaeróbio);
- adaptação prévia do meio suporte ao inóculo ou ao esgoto sanitário;
- aumento gradual da vazão de alimentação ou aplicação imediata da vazão de projeto (depende da quantidade e tipo do inóculo utilizado);
- aumento gradual da vazão de recirculação ou aplicação imediata da vazão de projeto.

Independente dos critérios utilizados para a partida, é fundamental que o substrato envolva as partículas suporte e que a velocidade ascensional não produza força de cisalhamento muito elevada a ponto de destruir e arrastar fragmentos do biofilme.

Em ambiente favorável, os microrganismos se aderem das partículas suporte e liberam polímeros extracelulares, o que estimula a aderência, o início da degradação do substrato e o desenvolvimento dos consórcios de microrganismos no material suporte.

Os autores deste capítulo realizaram a partida de um reator anaeróbio de leito expandido, em escala real, sem utilizar inóculo, tendo observado que o equilíbrio dinâmico aparente somente ocorreu após 140 dias de operação. O procedimento utilizado na partida foi:

- Utilização de velocidades elevadas para carreamento das menores partículas do leito suporte.
- Operação intercalada (funcionamento e paralisação) da alimentação com esgoto sanitário para facilitar o contato do substrato com o leito suporte (baixas velocidades ascensionais).
- Paralisação da bomba de alimentação para facilitar o desenvolvimento dos biofilmes nas partículas suporte.
- Entrada em operação da bomba de recirculação com vazão pequena (baixa velocidade).
- Alimentação de esgoto sanitário com aumento gradual da vazão.
- funcionamento dos conjuntos moto-bombas com diferentes taxas de recirculação, até alcançar o melhor desempenho.

É importante observar que a fase de partida ocorre até o estabelecimento do equilíbrio dinâmico aparente no reator. Como esse patamar é difícil de avaliar em termos práticos, os autores sugerem que seja determinado, quando o monitoramento da eficiência do tratamento indicar repetição de, no mínimo, duas semanas, valores aproximados de remoção de DQO e a estabilização da concentração de ácidos voláteis.

Operação

A operação de reator de leito expandido depende do controle da velocidade ascensional da massa líquida, a qual é diretamente relacionada com as vazões das bombas de esgoto bruto e de recirculação.

Uma maneira rápida e eficiente para controlar a velocidade ascensional é a utilização de inversores (variadores) de frequência para alterar a rotação dos motores e, com isso, modificar a vazão das bombas de esgoto sanitário e de recirculação.

Na operação também há controles adicionais:

- Percentual de expansão/fluidificação do leito suporte.
- Perda de carga na zona de reação.
- Taxa de recirculação.
- Volume de biogás.
- Porcentagem de metano no biogás.
- Quantidade produzida de lodo.
- Tempo de detenção hidráulica.
- Consumo de energia elétrica dos conjuntos motor-bombas.

O percentual de expansão do leito e a perda de carga ao longo da zona de reação indicam o tipo de movimentação do leito, sendo utilizados para manutenção ou modificação da velocidade ascensional, bem como para determinar o tipo de movimentação do leito (expansão ou fluidificação).

O volume de biogás, o percentual de metano e o percentual de material orgânico estabilizado podem ser relacionados com estabilidade do processo e como indicadores da eficiência do reator.

O volume de lodo a ser descartado regularmente nesse tipo de reator é normalmente pequeno, porém deve ser observado para que a remoção seja padronizada em relação ao período de remoção desse lodo, bem como para determinação do tempo de retenção celular (idade do lodo).

O tempo de detenção hidráulica e a taxa de recirculação no reator servem para a avaliação das taxas de escoamento superficial na zona de reação, na passagem dos

defletores, na zona de sedimentação e na zona de saída, servindo como referência para o controle da velocidade ascensional.

O acompanhamento dos dados de voltagem, amperagem e horímetro dos conjuntos motor-bomba de esgoto sanitário e de recirculação serve para avaliar o consumo de energia elétrica e o custo de operação.

Além desses controles operacionais, há a necessidade de realização de monitoramento das características físicas, químicas e biológicas do esgoto sanitário e do efluente do reator para determinar a real eficiência do tratamento.

Manutenção

São poucas as atividades de manutenção no reator de leito expandido/fluidificado, sendo praticamente restrita a vistoria diária das instalações para verificação visual da clarificação do efluente tratado e do borbulhamento de biogás.

Eventualmente, pode ser necessária a remoção manual de material flutuante na parte superior do reator e a limpeza da tubulação coletora de efluente tratado.

Uma outra atividade de manutenção/operação é a retirada de lodo armazenado no interior do reator, contudo essa atividade demora meses para ser realizada.

8.9 Aplicabilidade de Reatores Anaeróbios de Leito Expandido/Fluidificado

Resultados de trabalhos experimentais demonstram que esses reatores podem ser utilizados para tratamento anaeróbio e aeróbio de efluentes líquidos industriais e de esgotos sanitários, com excelentes resultados.

Evidentemente, as condições que definem a eficiência dos reatores dependem da concepção de configuração da unidade, das características do material suporte, da composição dos esgotos (presença de materiais tóxicos ou de óleos e graxas) e dos controles operacionais (velocidade ascensional, tempo de detenção hidráulico, temperatura de operação etc.).

Contudo, há reatores, alimentados por esgotos sanitários, que, com tempo de detenção hidráulica total de aproximadamente 3 horas, estão apresentando eficiência média de remoção de DQO próxima de 80%. (Pereira et al., 1998).

Difícilmente, em condições de operação de rotina, outros reatores anaeróbios oferecem tão bom desempenho, associado a tempo de detenção hidráulica dessa ordem.

A viabilidade de prever modulação e a pequena área para instalação desses reatores reduz os custos de desapropriação de áreas urbanas e, com isso, possibilita que os

recursos disponíveis sejam também aplicados em outras áreas, contribuindo, assim, para consolidação da concepção alternativa de sistemas de esgotamento sanitário descentralizados.

Essa descentralização das ETEs é significativamente importante em razão de o crescimento das áreas urbanas não ser acompanhado pela infra-estrutura urbana, o que normalmente é justificado pelas dificuldades de compatibilização dos serviços necessários na zona periférica com o previsto no plano diretor (quando há).

De outra forma, os custos elevados para construção de redes coletoras com grandes extensões, profundidades e diâmetros; de estações elevatórias de esgotos na chegada das ETEs; e de estações de tratamento de grande parte, podem tornar mais onerosa a realização de obras que atendam a população residente nas zonas periféricas.

É possível concluir que a pequena área para implantação, a eficiência do tratamento e o investimento com custo reduzido despertará cada vez mais o interesse de pesquisadores e usuários para esse tipo de reator, fazendo com que aumente sensivelmente o número de unidades para tratamento de esgoto sanitário em regiões urbanas brasileiras.

Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, J.C. (1995). *Caracterização e Evolução do Biofilme em Reator Anaeróbio de Leito Fluidificado Alimentado com Esgoto Sanitário Sintético*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.
- ATKINSON, B. et al. (1981). The Characteristics of Solid Supports and Biomass Support Particles When Used in Fluidized Beds. In: *Biological Fluidised Bed Treatment of Water and Wastewater*. Ellis Horwood Limited (Ed.), p.75-109.
- BENTHUM, et al. (1995). Solids Retention Time in Heterotrophic and Nitrifying Biofilm Airlift Suspension Reactor. *Water Science Technology*. v.32, n.8, p.53-60.
- CAMPOS, J.R. (1989). *Remoção de DQO e de Nitrogênio em um Sistema de Três reatores Biológicos de Filme Fixo em Série*. Tese (Livre-docência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CLEASBY, J.L.; E FAN, K. (1981). Predicting Fluidization and Expansion of Filter Media. *Journal of the Environmental Engineering Division*, v.107.
- DI BERNARDO, L. (1983). *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. ABES, v.2, Rio de Janeiro.
- DIEZ BLANCO; ENCINA, G.P.A.; POLANCO, F.F. (1995). *Effects of Biofilm Growth, Gas and Liquid Velocities on the Expansion of an Anaerobic Fluidized Bed Reactor (AFBR)*, *Water Research*, v.29, p.1649-1654.

- DROSTE, R.L. (1997). *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. John Wiley & Sons Inc. New York, 2. ed.
- FLETCHER, M. (1979). The Attachment of Bacteria to Surfaces in Aquatic Environments. In: *Adhesion of Microorganisms to Surfaces*. New York, Academic Press, p.87-108.
- HAMILTON, W.A. (1987). Biofilm: Microbial Interactions and Metabolic Activities, p.361-364, In: *The Society for General Microbiology Symposium*, Cambridge. Ecology of Microbial Communities. Cambridge University.
- HOWARD, J.R. (1989). *Fluidized Bed Technology: Principles and Applications*. Ed. Adam Hilger. Bristol.
- JEWELL, J.W. et al. (1981). Anaerobic Attached Film Expanded Bed Process. *A Collection of Papers*, New York. College of Agriculture and Life Sciences.
- KUNII, D.; LEVENSPIEL, O. (1969). *Fluidization Engineering*. New York, John Wiley & Sons Inc.
- METCALF & EDDY (1991). *Wastewater Engineering – Treatment – Disposal – Reuse*. Third Edition McGraw-Hill International Editions, New York.
- PEREIRA, J.A.R.; CAMPOS, J.R.; GIANOTTI, E.P.; MENDONÇA, N.M. (1997). Aderência de Microrganismos em Partículas de Carvão Ativado Utilizadas no Tratamento de Esgoto Sanitário. *XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental* (CD-ROM). Foz do Iguaçu, Paraná.
- SPPECE, R.E. (1996). *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*. Ed. Archae Press, p.394.
- SUTTON, P.M.; MISHRA, P.N. (1994). Activated Carbon Based Biological Fluidized Beds for Contaminated Water and Wastewater Treatment: A State – of – the – Art Review. *Water Science & Technology*, v.29, n.10-11, p.309-317.
- TÉRAN, F.J.C. (1995). *Tratamento de Esgoto Sanitário Sintético Empregando Reator Anaeróbio de Leito Fluidificado: Desempenho do Reator e Estudo do Biofilme*. São Carlos, 258p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- VERRIER, B. et al. (1988). Adhesion of Anaerobic Bacteria to Inert Supports and Development of Methanogenic Biofilms. In: *5th International Symposium on Anaerobic Digestion Advances in Water Pollution Control – IAWPRC*. Ed E.R. Hall and P.N. Hobson. Italy.
- VIEIRA, M.B.S. (1989). *Avaliação do Desempenho de um Reator Anaeróbio de Leito Fluidificado Piloto no Tratamento de Efluentes Líquidos Apresentando Baixa Concentração de DQO*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.
- WIECHETECK, G.K. (1996). *Influência do Método de Lavagem nas Características de Carvões Antracitoso e Betuminoso Utilizados em meio Filtrante*. São Carlos, 169p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, EESC, Universidade de São Paulo.