

Emprego de reator biológico de leito fluidificado no tratamento de despejos líquidos de indústrias de conservas(*)

José Roberto Campos (**)

Jorge Akutsu (***)

RESUMO

Este trabalho relata os resultados obtidos através da operação de uma instalação-piloto de reator anaeróbio de leito fluidificado alimentado por despejos líquidos provenientes de processamento de alimentos cujas matérias-primas principais são o tomate, o milho, o morango, o pêssego, a mandioca, a goiaba, o figo etc.

Esse reator foi operado por mais de dez meses, durante os quais foram testados tempos de detenção hidráulica de 6 horas, 3,5 horas e 2 horas.

Os resultados comprovam a viabilidade técnica do emprego desse tipo de reator no tratamento de efluentes de indústrias com linha de produção semelhante à mencionada.

Neste trabalho também são discutidos os resultados obtidos com base em considerações acerca de: pH, temperatura, alcalinidade, sólidos suspensos, "biomassa", DBO e DQO.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à Fapesp — Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo auxílio financeiro para a realização desta pesquisa (Proc. n.º 82/1499-9), assim como pela bolsa de estudos concedida ao eng.º Jorge Akutsu (Proc. n.º 82/2117-2). Esses agradecimentos são extensivos à "Conservas Alimentícias Hero S.A." — São Carlos/SP, por autorizar a instalação da unidade-piloto recebendo parte de seus efluentes, assim como pela colaboração e apoio durante a montagem e a operação da mesma.

1 — INTRODUÇÃO

Até recentemente acreditava-se que o uso do processo anaeróbio só era

viável técnica e economicamente para tratamento de lodos provenientes de decantadores ou adensadores, ou, então, de resíduos altamente concentrados, embora já desfrutando de grande aceitação unidades como tanques sépticos (ou similares) e lagoas anaeróbias.

Com base em critérios de projeto usuais, os reatores convencionais exigem longo tempo de tratamento, pois o tempo de detenção celular e o tempo de detenção hidráulico são aproximadamente iguais ou de mesma ordem de grandeza, tornando antieconômica a utilização desse processo para tratamento de resíduos não concentrados, em face da necessidade de grandes volumes para essas unidades.

Com a conscientização da premência em se reduzir o consumo de energia, pesquisadores de vários países estão buscando novas alternativas no campo do tratamento biológico, em contraposição ao tratamento anaeróbio convencional, e, principalmente, ao tratamento aeróbio.

Assim sendo, o tratamento anaeróbio passou a ser estudado mais profundamente, e, hoje, são conhecidos reatores anaeróbios não convencionais para tratamento de despejos líquidos não concentrados (à temperatura ambiente), que visam basicamente diferenciar o tempo de retenção celular do tempo de detenção hidráulico, ou seja, são mantidas altas concentrações de microrganismos nos reatores, possibilitando tratamento em unidades relativamente pequenas. Exemplos desses novos reatores são o filtro anaeróbio (com uso já difundido), o reator anaeróbio de manta de lodo (Uasb — Upflow Anaerobic Sludge Blanket) e o reator anaeróbio de leito fluidificado.

O reator anaeróbio de leito fluidificado despertara interesse e expectativa devido aos resultados surpreendentes que apresentou em pesquisas iniciais. Trata-se de um reator não convencional, contendo um "leito" com partículas inertes de pequenas dimensões, que é submetido a fluxo ascendente suficiente para provocar a sua fluidificação.

Essas partículas oferecem grande superfície específica para a fixação de microrganismos, ao mesmo tempo que

sua densidade sendo maior que a dos próprios microrganismos, possibilita aplicação de cargas hidráulicas relativamente grandes sem a perda das mesmas (dentro de certos limites) através do arrasto pelo efluente. A fina camada biológica que se desenvolve em torno das partículas permite boa difusão do substrato para as camadas mais profundas desta película, sendo reduzidas ao mínimo, ou mesmo não existindo camadas inativas, a exemplo do que ocorre em filtros anaeróbios e filtros biológicos (1). A independência entre partículas, por sua vez, evita diminuição da superfície específica e entupimentos no decorrer do tempo.

As pesquisas com esse tipo de reator foram bastante intensificadas a partir do final da década de 70, resultando em publicações interessantes sobre o assunto, entre as quais podem ser citadas aquelas apresentadas no encontro acerca de reatores de leito fluidificado promovido pelo Water Research Centre e University of Manchester Institute of Science Technology (2), as apresentadas no "Specialised Seminar of the IAWPRC" sobre tratamento anaeróbio e reatores de filme biológico fixo (3) e aqueles constantes de publicação do College of Agriculture and Life Sciences (State University of New York) organizada por Jewell, W. J. (4).

Jewell, W. J et alii (4) operaram um reator anaeróbio de leito fluidificado em escala de laboratório, para tratamento de esgotos sanitários, submetendo-o às mais diversas variações de cargas de choque: temperatura, carga hidráulica e concentração de substrato. Foram obtidos valores de DQO e de sólidos suspensos no efluente inferiores a 40 mg/l e 5 mg/l, respectivamente, mesmo para tempo de detenção hidráulico inferior a 30 minutos. A máxima eficiência de remoção de DQO ocorreu a uma taxa de aplicação de carga orgânica igual a 4 kg de DQO/m³.dia. Os valores de concentração de "biomassa" atingiram a faixa de 20 a 30 kg de sólidos voláteis/m³.

Switzenbaum, M. S. et alii (4) empregando reatores anaeróbios de leito fluidificado, em laboratório, variaram quatro parâmetros com o intuito de averiguar o desempenho de rea-

(*) Trabalho apresentado ao XIX Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental - 11 a 16-11-84 - Santiago - Chile.

(**) Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo - Brasil.

(***) Aluno de pós-graduação em Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

tor: tempo de detenção (de 6 a 0,33 h), DQO (de 50 mg/l a 600 mg/l), carga orgânica (de 0,8 a 4,8 kg de DQO/m³. dia), e temperatura (de 10 a 30°C). Nesta pesquisa os autores concluíram que a eficiência na remoção de substrato é função do tempo de detenção hidráulico concomitantemente com a carga orgânica, porém é também influenciada pela concentração do substrato afluente e temperatura. Contudo, foi obtida remoção de DQO igual ou superior a 80% para tempo de detenção hidráulico relativamente baixo e sob condições de carga orgânica elevada, com apenas ligeira influência da temperatura e da concentração de substrato.

A influência da variação da temperatura foi muito menor do que a esperada, talvez em consequência do aumento da biomassa que era observado quando eram impostas temperaturas menores (a menor temperatura testada foi 10°C).

Nesta pesquisa, a concentração total de microrganismos foi estimada, levando-se em conta a parte aderida ao meio suporte e a presente nos interstícios deste. Concentrações elevadas foram observadas a temperaturas baixas e carga orgânica alta, chegando a valores da ordem de 30 gl. Foi constatado que 95% dessa concentração estava presente na película aderida às partículas do meio, cuja espessura foi estimada como sendo da ordem de 15 a 20 µm.

De maneira geral, as pesquisas efetuadas com reator anaeróbio de leito fluidificado levam a conclusões que confirmam a grande vantagem de esses reatores permitirem o tratamento de despejos com alta e também com baixa concentrações de DBO, empregando-se tempo de detenção hidráulico da ordem de apenas poucas horas e, mesmo em alguns casos, de minutos, em função da elevada quantidade de biomassa que se encontra retida no leito. Além disso esse reator tem demonstrado que pode funcionar relativamente bem, mesmo para temperaturas da ordem de 10°C.

2 — OBJETIVOS

A presente pesquisa foi desenvolvida com os seguintes objetivos principais:

- construção de um reator anaeróbio de leito fluidificado em escala-piloto;

- verificação da aplicabilidade desse reator no tratamento de despejos líquidos de indústria de conservas alimentícias, que têm como base em sua composição os resíduos decorrentes da industrialização do tomate, morango, milho, figo etc.;

- detecção de tópicos específicos que exigem melhor conhecimento para a programação de pesquisas futuras.

3 — DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO-PILOTO

A unidade estudada foi instalada em área de uma indústria de processamento de alimentos que já possui um sistema para retenção de sólidos suspensos de seus efluentes líquidos, através de uma peneira vibratória, seguida por decantador.

A unidade-piloto, durante a realização da presente pesquisa, era alimentada com o efluente deste decantador. Porém, como o mesmo está sendo operado com vazão superior a sua capacidade nominal, seu efluente ainda apresenta elevado teor de sólidos suspensos que, evidentemente, têm acesso ao reator de leito fluidificado.

Essa indústria utiliza o tomate como principal matéria-prima, porém faz uso também de milho, morango, pêssego, mandioca, goiaba, figo etc., fato que leva a variações sensíveis na qualidade dos efluentes líquidos da mesma.

A Figura 3.1 apresenta as partes

constituintes da instalação-piloto e suas principais dimensões.

A instalação-piloto é constituída de um tubo de 5 m de altura, diâmetro interno de 0,10 m, apresentando tomadas em diversos níveis para verificação da perda de carga. Na sua parte inferior foi prevista uma placa perfurada e uma camada de pedregulhos com granulometria variada, para servirem como apoio ao material que constitui o "leito" (areia) e também para proporcionar boa distribuição do fluxo de água. A areia utilizada apresenta-se bem uniforme, estando seu tamanho compreendido na faixa de peneiras 0,42 mm e 0,59 mm, equivalentes, respectivamente, aos números 30 e 40 da série americana.

Entre o decantador primário e a instalação-piloto, foram previstos dois tambores, com o intuito de permitir a adição do carbonato de sódio para correções adicionais de pH e também para proporcionar certa homogeneização dos despejos.

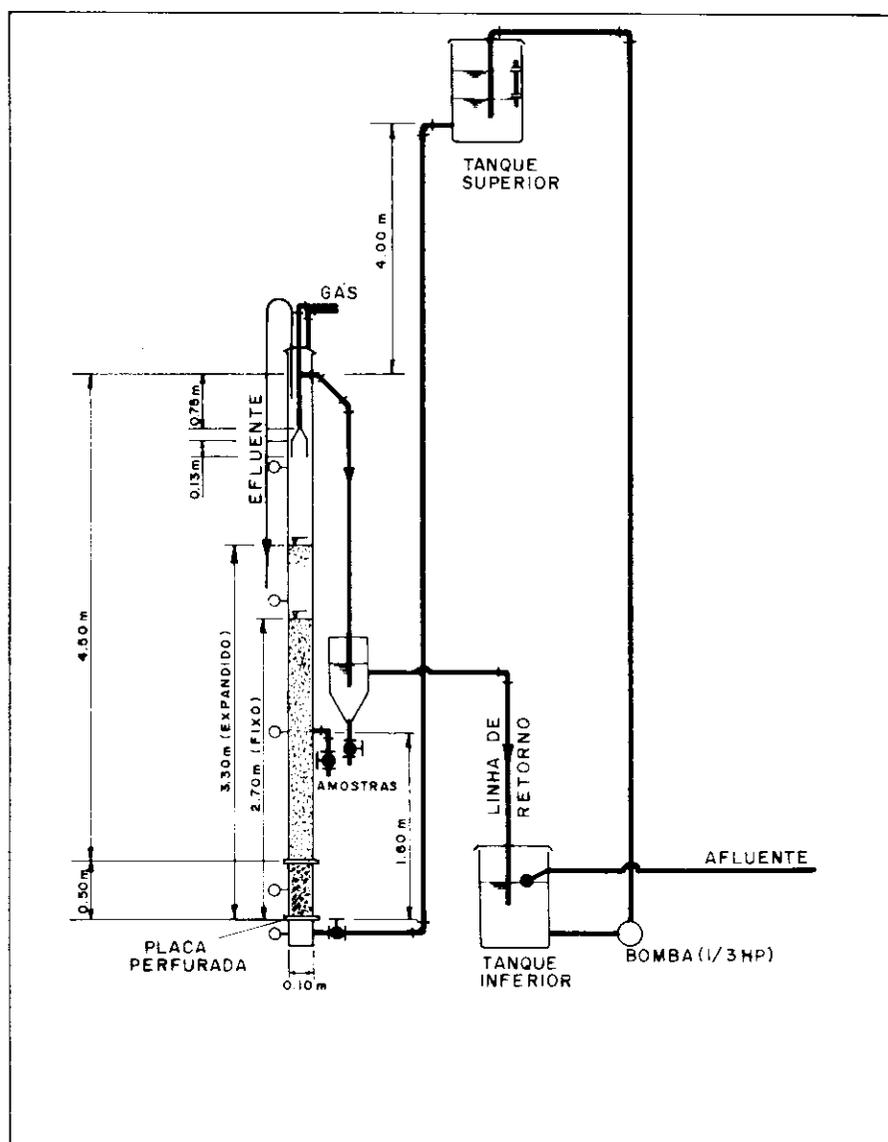


Figura 3.1 — Esquema do reator anaeróbio de leito fluidificado

Após a saída do reator, foi previsto um pequeno tanque com fundo cônico, destinado a reter (e assim poder ser retornado) todo o material do meio suporte que eventualmente "escape" do mesmo.

A 1,6 m da placa perfurada de distribuição foi prevista uma saída, para retirada de amostras do meio suporte.

Até janeiro de 1984, essa unidade foi operada com uma única saída para a recirculação e o efluente final, porém, a partir desta data, passaram a funcionar saídas distintas para melhorar as condições de sedimentação do material suspenso, presente no efluente.

4 — METODOLOGIA

4.1 — Início da Operação do Sistema

É de conhecimento, através da literatura, que o processo anaeróbio em geral exige período relativamente grande para atingir sua estabilidade, podendo estender-se a valores acima de oito meses, caso não seja feita inoculação com microrganismos apropriados, ou seja, responsáveis pela oxidação nesse processo.

O reator anaeróbio de leito fluidificado foi inoculado inicialmente com estrume bovino (coletado a cada dois dias), diluído em proporções variando de 1:3 a 1:5 (estrume: água), previamente passado em peneira com malha de 1 mm, e posteriormente coado em tela de algodão, para retirar o material mais grosseiro, tentando, assim, evitar entupimentos na placa e na camada de distribuição do reator.

A DQO desse estrume bovino, depois de peneirado e coado, variou em uma faixa de 1.500 a 3 mil mg/l, o pH permaneceu perto da faixa neutra, 6,5 — 7,5, sendo que seus valores variavam de acordo com o fator de diluição e do pH da água utilizada para o seu preparo.

O sistema foi alimentado com esse inóculo e colocado em operação com recirculação total, ou seja, todo o efluente do reator era novamente retornado ao tanque de alimentação.

Posteriormente, além do estrume bovino que estava sendo utilizado já há um mês, foi adicionado o lodo proveniente de um biodigestor que se encontrava em pleno equilíbrio de funcionamento.

O procedimento para o preparo do inóculo com o material desse biodigestor foi análogo ao do estrume bovino, sendo que esse mostrou ser mais conveniente no que se refere à aceleração do processo.

O tempo de detenção foi regulado inicialmente para três dias, sendo gradualmente diminuído para um período de 12 horas.

A inoculação foi efetuada por período aproximado de dois meses: junho, com estrume bovino, e, julho, com material proveniente do biodigestor. A fase de inoculação foi efetuada em período relativamente frio e com grandes variações de temperatura, sendo estas da ordem de 8°C a 18°C e 12°C a 25°C, nos casos mais extremos.

No final de julho se começou a notar pequena formação de gás no reator, através da mangueira imersa em recipiente de água, utilizada para esse fim. O pH do inóculo nesse período nunca saiu da faixa de 6,8 a 7,2 e algumas análises de DQO mostraram remoção de 20 a 40%.

Procedeu-se, a partir daí, à introdução gradual de mistura inóculo mais despejo líquido em proporções variando de 5:1, 3:1, 1:1, com pH ajustado em torno de 7,0 por um período de dez dias, até que o reator começou a receber apenas o despejo líquido da indústria, com tempo de detenção aproximado de 12 horas.

O tempo de detenção de 12 horas foi reduzido gradualmente para 6 horas, e nestas condições foi operado aproximadamente por cinco meses.

Nos passos seguintes foram também testados tempos de detenção de 3,5 horas e 2 horas.

4.2 — Coleta e Análise de Amostras

Diariamente eram efetuadas, no local onde está situada a instalação-piloto, medidas da temperatura do resíduo, temperatura do ar, pH do afluente e pH do efluente. Sempre que o pH do afluente estava fora da faixa de valores entre 6,0 e 7,0, este era corrigido através da adição de barrilha.

Era verificada, também, diariamente e corrigida, caso necessário, a taxa hidráulica conveniente para a expansão desejada no leito. Operou-se, até início de maio de 1984, com taxa referente a uma expansão da ordem de 30 a 40%

no leito, sendo que, a partir dessa data, esta taxa foi diminuída para uma faixa referente a expansões da ordem de 10 a 20%.

São relacionadas, a seguir, em forma de tabela, outras análises realizadas e suas frequências médias, todas sendo determinadas segundo indicação e prescrição do Standard Methods for Water and Wastewater Examination - 14.a edição.

5 — APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 — Generalidades

Os resultados obtidos de agosto de 1983 a janeiro de 1984 são relativos à operação do reator antes da modificação já justificada no item 3, sendo que nesse período o tempo de detenção hidráulico foi fixado em 6 horas.

Neste período, verificou-se que o reator "perdia", no efluente, quantidade considerável de sólidos suspensos voláteis. Paralelamente a isso foi constatada, através da análise de sólidos voláteis aderidos à areia e de sólidos suspensos voláteis nos interstícios da areia, evolução muito pequena nas concentrações de "biomassa". Esses fatos é que levaram a se procurar criar uma zona de decantação mais adequada na parte superior do reator, cuja velocidade de escoamento superficial é apenas dependente da vazão de retirada do efluente e não da soma dessa vazão com a vazão de recirculação como anteriormente.

O reator, após a modificação, foi operado até meados de fevereiro de 1984, ainda com tempo de detenção igual a 6 horas, sendo posteriormente diminuído para 3,5 horas (fevereiro a 26 de maio) e 2 horas, finalmente.

O tempo de detenção hidráulico foi calculado com base no volume total do reator vazio, ou seja, não levando em conta o volume ocupado pela areia que compõe o "leito".

Houve preocupação inicial com relação às necessidades por parte dos mi-

Tabela 4.1 — Programa básico de análises

Análise	Frequência
DQO	duas vezes por semana
Alcalinidade	duas vezes por semana
Sólidos	duas vezes por semana
DBO	uma vez por semana
Sólidos voláteis no leito ("Biomassa")	eventual
Nitrogênio	eventual

crorganismos no que se refere às concentrações de Nitrogênio e de Fósforo presentes nos despejos, porém, na mesma ocasião, estava sendo operado, em paralelo, um filtro biológico aeróbio piloto que, recebendo os mesmos despejos não demonstrava problemas evidentes de falta de N e de P. Esse fato permitiu inferir que, certamente, para processo anaeróbio, essa preocupação poderia ser relegada, tendo em vista que o mesmo é menos exigente em termos de concentrações desses nutrientes.

Com relação às determinações de produção e composição do gás, estas não foram realizadas, sendo, entretanto, uma das metas para pesquisas subsequentes.

5.2 — Parâmetros Estudados

pH e alcalinidade: os valores de pH do afluente e do efluente do reator eram medidos diariamente. A tabela 5.2.1 mostra os valores médio, mínimo e máximo e desvio padrão mensais dos valores de pH.

O pH natural do despejo é relativamente baixo (em torno de 4,0), e é corrigido pela indústria através da adição de cal, para uma faixa de valores entre 5,0 e 6,0. Posteriormente, para alimentação do reator, procurou-se sempre ajustar o pH dentro da faixa de valores entre 6,0 e 7,0 através da utilização de carbonato de sódio.

Observa-se que, durante todo o período de operação, o pH médio do efluente foi superior a 7,0 e sofreu variações sensivelmente menores que aquelas verificadas no afluente, tendo em vista os valores de desvio padrão determinados por ambos os casos.

A Figura 5.2.1 mostra a variação da alcalinidade do afluente e do efluente e permite verificar que houve "geração" de compostos que dão origem à alcalinidade, o que provavelmente tinha ocorrido devido à decomposição anaeróbia de proteínas dando origem a amônia e sais de amônia.

Temperatura: no período inicial, de agosto a outubro de 1983, ocorreram temperaturas mínimas da ordem de 10 a 15°C, porém durante todo o tempo em que se desenvolveu o estudo, a variação da temperatura mensal esteve entre 20,8 e 27,4 °C (janeiro de 1984).

A aleatoriedade dos outros parâmetros envolvidos não permite que sejam definidas conclusões precisas a respeito da influência da temperatura na eficiência do processo, porém, como se trata de instalação-piloto exposta ao tempo sem qualquer controle térmico, pode-se concluir que a variação da mesma dentro dos limites verificados no caso não provocou al-

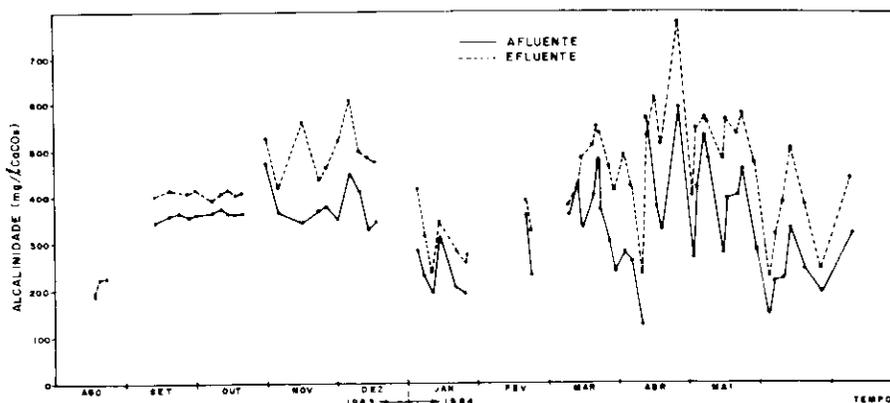


Figura 5.2.1 — Valores da alcalinidade do afluente e do efluente do reator.

teração sensível no desempenho do reator.

Sólidos suspensos: como o sistema de tratamento primário da indústria não está funcionando em condições ideais, o afluente à instalação-piloto apresenta variações na concentração de sólidos suspensos totais entre os limites de 30 mg/l e 831 mg/l, sendo que cerca de 75% desses valores eram constituídos por sólidos suspensos voláteis.

A concentração média de sólidos suspensos voláteis no efluente do reator foi da ordem de 62 mg/l, até janeiro de 1984, passando a ter valor médio da ordem de 32 mg/l no período que se seguiu desde aquela data até junho do mesmo ano.

A redução do tempo de detenção de seis horas para duas horas não provocou aumento na concentração de sólidos suspensos no efluente do reator.

Sólidos voláteis no meio fluidificado (biomassa): a "concentração de biomassa" foi estimada a partir da determinação de sólidos voláteis. Sabe-se que não se trata de uma determinação totalmente precisa ou correta, porém, tem sido utilizada como uma aproximação razoável para esse fim.

Algumas análises foram feitas com o intuito de observar a evolução da concentração de biomassa no reator. Duas determinações eram efetuadas para cada amostra analisada: sólidos aderidos à areia e sólidos suspensos voláteis nos interstícios dessas. A Tabela 5.2.2 mostra esses valores.

Nota-se pelos dados dessa tabela que existe concentração relativamente alta de sólidos suspensos voláteis presentes nos interstícios da areia, porém, existe porcentagem maior de sólidos voláteis na forma aderida à areia. Verifica-se, também, uma evolução muito pequena na concentração de sólidos voláteis total no meio fluidificado no decorrer do tempo. Acredita-se que essa pequena evolução se deva a três razões:

a) perdas relativas no efluente

As perdas de sólidos suspensos voláteis no efluente se apresentaram em torno de 62 mg/l no início do processo, o que é um número relativamente alto, para um processo anaeróbio que apresenta baixa taxa de crescimento de microrganismos e também decorrente do fato de a carga orgânica aplicada ser relativamente pequena.

Tabela 5.2.1 — Valores de pH mínimo, médio, máximo e desvio padrão mensais do afluente e efluente do reator.

DATA	AFLUENTE				EFLUENTE			
	pH Mín.	pH Méd.	pH Máx.	σpH	pH Mín.	pH Méd.	pH Máx.	σpH
AGO/83	6,00	6,70	7,30	0,37	6,80	7,15	7,30	0,16
SET	5,10	6,24	7,70	0,50	6,50	7,19	7,80	0,29
OUT	6,20	6,67	7,20	0,28	7,00	7,51	7,80	0,19
NOV	6,00	6,76	9,00	0,63	6,70	7,38	7,90	0,27
DEZ	5,80	6,45	7,20	0,39	7,00	7,49	8,00	0,24
JAN/84	6,20	6,68	7,40	0,35	7,20	7,42	7,50	0,12
FEV	5,40	6,36	7,10	0,50	7,10	7,43	7,80	0,18
MAR	4,80	6,11	7,35	0,61	6,85	7,28	7,90	0,27
ABR	5,35	6,45	8,00	0,56	6,80	7,12	7,50	0,19
MAI	5,70	6,32	7,00	0,36	6,80	7,13	7,40	0,18

Houve uma preocupação então na época, de se criar uma zona de decantação no topo do reator com o objetivo de minimizar essas perdas, através da modificação na retirada do efluente. Através da criação dessa zona de decantação as perdas passaram a ser comandadas pela taxa de retirada do efluente, ou seja, foi prevista uma taxa de decantação compatível com a de decantadores convencionais, mesmo quando o reator era operado com tempo de detenção de duas horas. Verificou-se que essa medida propiciou melhorias, pois mesmo operando com tempos de detenção hidráulicos de 3,5 e de duas horas, a concentração de sólidos suspensos voláteis diminuiu para valores entre 30 e 40 mg/l, o que não ocorria quando o reator operava sem a zona de decantação e o tempo de detenção hidráulico de seis horas.

b) a concentração de biomassa está diretamente ligada com a carga orgânica aplicada (4).

Verificou-se, em literatura, a existência de relação aproximadamente direta entre a concentração de sólidos voláteis no reator e a aplicação de carga orgânica, ou seja, altas concentrações de sólidos voláteis só são conseguidas com aplicação de cargas orgânicas maiores. Para o caso em particular dessa pesquisa em que a concentração média de DQO é relativamente pequena (em torno de 500 mg/l), chegando, às vezes, a 200 mg/l, cargas orgânicas altas só serão conseguidas com a diminuição do tempo de detenção hidráulico, o que foi permitido devido às características do meio suporte utilizado, sem que se provocasse o arrasto do mesmo.

As cargas orgânicas aplicadas permaneceram em uma faixa de 1,0 a 3,5 kg DQO/m³/dia, sendo que a concentração de sólidos voláteis total no leito atingiu concentrações em torno de 3.500 mg/l.

A concentração média de sólidos voláteis, considerando a carga orgânica média aplicada ao reator nessa pesquisa em particular, foi relativamente baixa quando comparada com outros trabalhos.

c) problemas operacionais

Cabe lembrar que no decorrer do período em que a pesquisa foi desenvolvida, ocorreram diversos problemas operacionais que, por vezes, levaram a perdas de parcelas do meio suporte, (porém, não mais que 10%) sendo necessária reposição com meio suporte "limpo". Esse fato, além de outros anteriormente citados, talvez tenha contribuído para o pequeno desenvolvimento do aumento da concentração de sólidos voláteis no reator no decorrer do tempo.

DBO e DQO: a Figura 5.2.2 mostra a eficiência do sistema na remoção de

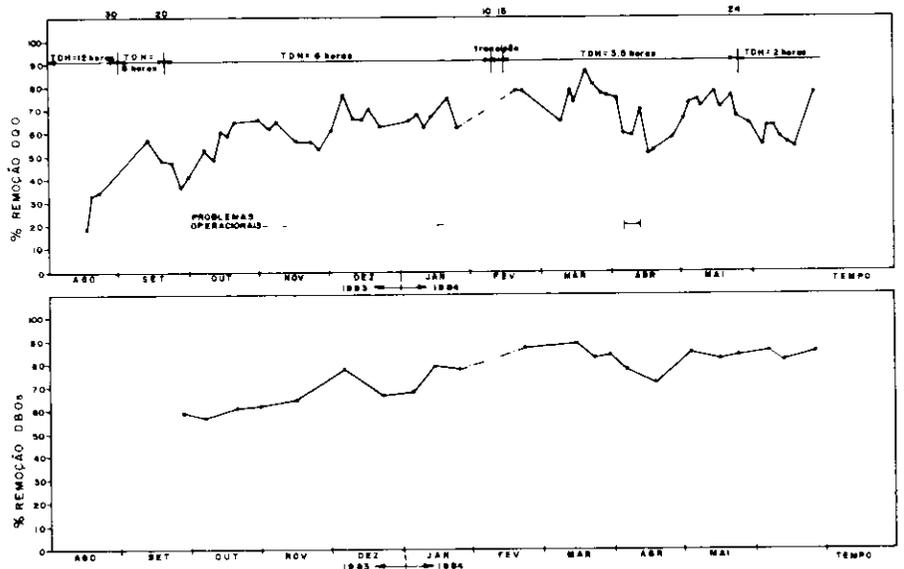


Figura 5.2.2 — Eficiência do sistema de remoção de DQO e DBO₅

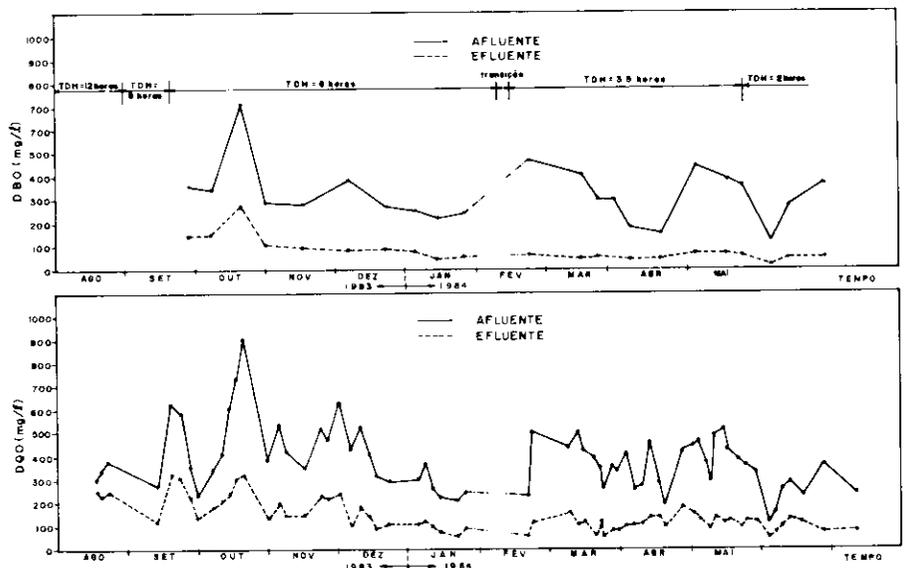


Figura 5.2.3 — Valores DBO₅ e DQO do afluente e do efluente do reator

DBO₅ e DQO no decorrer do tempo.

Pode-se observar pela figura uma evolução lenta até o início do mês de setembro, onde a remoção de DQO se estabelece por volta de 65 a 75% e a de DBO₅ em torno de 75%. Verifica-se, também nesse período, certa sensibilidade na qualidade do efluente, decorrente das variações do afluente, fato esse mais pronunciado em relação à DQO, como pode ser observado pela Figura 5.2.3. No decorrer do tempo, entretanto, essa sensibilidade torna-se menos pronunciada, principalmente em relação à DBO₅.

Com tempo de detenção de seis horas, no qual o reator foi operado até janeiro de 1984, verificou-se remoção de DQO acima de 78%. Com a diminuição do tempo de detenção para 3,5 horas, notou-se, inicialmente, certa degradação na qualidade do efluente, re-

cuperando-se, porém, após algumas semanas e restabelecendo novamente a eficiência de remoção. Fato significativo pode ser notado a partir de maio, quando a remoção de DBO₅ manteve-se sempre acima de 80% (tempo de detenção: duas horas).

Os problemas operacionais que surgiram incorrendo em perdas do material do "leito", como ocorreu em novembro de 1983, janeiro e abril de 1984, prejudicaram a qualidade do efluente, sendo bastante agravante em abril, onde esta perda foi mais acentuada.

Notou-se que os sólidos suspensos voláteis presentes no efluente do reator contribuíram de maneira significativa nas concentrações de DQO e DBO₅ do efluente, já que, em suas determinações, as amostras eram tomadas brutas, ou seja, não filtradas.

Tabela 5.2.2 — Variação da concentração de sólidos voláteis no meio fluidificado durante o período de operação do reator

DATA	CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS VOLÁTEIS NO MEIO FLUIDIFICADO (mg/l)			Relação entre os valores das colunas I e II
	(I) SÓLIDOS VOLÁTEIS aderidos à areia	(II) SÓLIDOS SUSPENSOS voláteis no "leito"	(III) SÓLIDOS VOLÁTEIS total no "leito"	
27.09.83	1920	664	2584	0,346
07.10	2020	780	2800	0,386
20.10	2480	828	3308	0,334
05.11	2006	620	2626	0,309
16.11	1867	586	2453	0,314
06.12	2140	946	3086	0,442
23.03.84	3244	408	3752	0,126
03.04	2940	471	3411	0,160
19.04	2415	561	2976	0,232
15.05	2720	762	3482	0,280

Tempo de retenção celular médio: a Tabela 5.2.2 apresenta a variação da concentração de sólidos voláteis no meio fluidificado durante o período de operação do reator. De posse desses dados, e, também, levando-se em conta os valores médios de perda de sólidos suspensos voláteis no efluente, fez-se uma estimativa do tempo de retenção celular médio no reator, obtendo-se o valor aproximado de dez dias. Esse valor é relativamente baixo, quando comparado com o obtido em outros trabalhos em que se obtiveram valores em torno de 100 dias. Entretanto, é justificado em face da concentração relativamente pequena de sólidos voláteis presentes no meio fluidificado associado às perdas consideráveis no efluente.

6 — CONCLUSÕES

As conclusões específicas sobre os parâmetros estudados já foram apresentadas no 5, portanto, neste item apenas serão destacadas as conclusões de caráter mais geral.

A seguir, serão enumeradas as principais conclusões a respeito da pesquisa desenvolvida:

— O reator de leito fluidificado pode ser aplicado no tratamento anaeróbio de efluentes de indústrias de processamento de alimentos vegetais, que apresentam características semelhantes às dos despejos estudados;

— Mesmo com inoculação cuidadosa do meio, antes do início da operação, aparentemente o reator não atingiu sua máxima capacidade, no que se refere à sua eficiência após seis meses de operação com tempo de detenção hidráulica (em relação ao volume total de reator vazio) de seis horas;

— Para tempo de detenção de 3,5 horas, a eficiência média na remoção de DBO e DQO, foi, respectivamente, igual a 82% e 70%. É importante destacar que a remoção média referente a 3,5 horas de detenção foi superior à verificada no caso de seis horas de detenção. A rigor, não se pode afirmar se esta melhora foi decorrente de mudança do tempo de detenção, ou simplesmente, foi consequência da evolução do ecossistema no sentido de aproximar-se dessa produtividade máxima, tendo em vista maior período de maturação. Além disso, coincidentemente com a mudança de tempo de detenção de seis horas para 3,5 horas, também foi efetuada a melhor adequação do dispositivo de saída, reduzindo-se o arraste de sólidos;

— A eficiência do reator pode ser aumentada com a melhor adequação futura da zona de decantação, pois, boa parte da DBO detectada no efluente (DBO bruta) é consequência da presença de sólidos;

— Para tempo de detenção de duas horas, houve degradação inicial da qualidade do efluente, porém, após algumas semanas de operação, a remoção passou a ser sempre superior a 80%;

— Sempre que houve mudança no tempo de detenção ocorreu uma pequena redução na eficiência do reator, porém, sempre seguida de imediata recuperação;

— O reator pode ficar fora de operação, sem receber alimentação alguma, durante vários dias, e apesar disso, após duas ou três semanas do reinício da introdução de efluente, o mesmo volta a apresentar eficiência equivalente àquela que possuía anteriormente à interrupção;

— O teor de sólidos suspensos no efluente foi superior ao desejável (no

caso de tempo de detenção de 3,5 horas, por exemplo, a média foi da ordem de 36 mg/l), sugerindo necessidade na melhoria da zona de decantação e melhores estudos acerca da expansão ótima do leito;

— Após o reator aproximar-se do "equilíbrio", existe tendência de o efluente sofrer menores variações na qualidade do afluente, em termos de DBO. No que se refere à DQO, notou-se que existe maior correlação entre as variações observadas no afluente com as do efluente;

— De maneira geral, o efluente apresentou alcalinidade maior do que o afluente (os acréscimos variaram de 1,8 a 86,9%). A medida que aumentava o tempo de operação do sistema, talvez em decorrência da evolução na retenção de sólidos e na maturação do ecossistema, foi observada uma ligeira tendência em ocorrerem maiores acréscimos ao valor da alcalinidade do afluente;

— A carga orgânica média aplicada, relativa ao tempo de detenção de 3,5 horas, foi da ordem de 2,7 kg DQO/m³/dia. Esse valor é relativamente baixo para o processo em questão, porém, o mesmo é consequência dos valores baixos da DBO do afluente (média no período: 331 mg/l);

— Tendo em vista a natureza da pesquisa, em que o reator recebia efluentes industriais com grande variação de qualidade e também por ser uma pesquisa inicial destinada a oferecer suporte para estudos posteriores, não foi possível a utilização dos resultados obtidos para a verificação ou proposição de modelos matemáticos.

A experiência da operação dessa unidade-piloto ofereceu uma série de caminhos para pesquisas que serão desenvolvidas na Escola de Engenharia de São Carlos/USP, uma das quais está relacionada com a busca de melhores condições para redução da vazão de recirculação com o objetivo de atenuar o consumo de energia para o funcionamento do sistema.

BIBLIOGRAFIA

- [1] JEWELL, W. J. et alii. Municipal wastewater treatment with the anaerobic attached microbial film expanded bed process. *Journal Water Pollution Control Federation*, April, 1981.
- [2] COOPER, P. F. & ATKINSON, B. et alii. *Biological Fluidized bed treatment of water and wastewater*. Water Research Centre, Ellis Horwood Limited, Manchester-UK, 1980, 411 p.
- [3] HENZE, M. et alii. *Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactions*. Technical University of Denmark, Pergamon Press, Copenhagen — Denmark, 1982.
- [4] JEWELL, J. W. et alii. *Anaerobic attached film expanded bed process — a collection of papers*. College of Agriculture and Life Sciences (State University of New York), June, 1982.