

Tratamento aeróbio sob pressão (*)

SAMUEL MURGEL BRANCO (**)

MARIA DE LOURDES FLORENCIO DOS SANTOS (***)

PAULO MODESTO FILHO (****)

RESUMO

O presente trabalho visa observar aspectos da floculação e estabilização biológica de um resíduo orgânico sintético, através de cultura mista de microrganismos obtida do esgoto doméstico, em condições de aeração sob pressões superiores à pressão atmosférica normal (2 a 3 kg/cm²).

O processo foi testado em uma unidade com capacidade para quatro litros e em funcionamento descontínuo. Nos ensaios trabalhou-se com diversas concentrações iniciais de substratos, sendo feitas determinações de: Demanda Química de Oxigênio; Demanda Bioquímica de Oxigênio; pH; Sólidos Sedimentáveis, Totais, Fixos e Voláteis; Oxigênio Dissolvido; N^o Total

de Colônias de Bactérias e Exames Microscópicos.

Utilizou-se resíduos com valores de DQO variando entre 620 mg/l e 1.200 mg/l, obtendo-se reduções da ordem de 95% em termos de DBO₅ e 70% em termos de DQO, com amostras filtradas.

Em todos os ensaios feitos, não foi observada formação de quantidade significativa de sólidos sedimentáveis.

1. INTRODUÇÃO

A idéia de realizar uma pesquisa sobre a influência da pressão de ar em um sistema de tratamento biológico de esgotos nasceu por volta de 1970 tendo como fundamento, a preocupação do primeiro dos autores, de estudar a possibilidade de um aumento de eficiência ou velocidade do processo de estabilização mediante a presença de maior disponibilidade de oxigênio.

Os processos aeróbios de estabilização sofrem, via de regra, uma importante limitação devida a escassez de oxigênio na água, em vista da sua baixa solubilidade nesse meio. Assim sendo, a própria água constitui uma barreira aos processos aeróbios microbiológicos, sendo esta a principal razão porque um resíduo a ser tratado aerobicamente deve ser ou totalmente seco, formado de partículas de gran-

de superfície com espaços intersticiais para a penetração do ar, ou ao contrário bastante solúvel, garantindo estreito contacto entre as moléculas orgânicas e o oxigênio dissolvido no meio líquido. Maiores dificuldades são, por outro lado, encontradas no tratamento aeróbio de material em estado pastoso, isto é, lodo orgânico altamente hidratado, pois a água intersticial dificulta sobremaneira a circulação da água contendo oxigênio e este, sempre em baixa concentração, se esgota rapidamente dos espaços entre as partículas.

Para aumentar o conteúdo de oxigênio dissolvido na água dispúnhamos, em princípio, de duas possibilidades:

- a) Utilização de baixas temperaturas, para aumentar a solubilidade do oxigênio.
- b) Utilização de um ambiente de pressão elevada, aumentando, também, a solubilidade do oxigênio.

A primeira dessas possibilidades era, por definição, incompatível com o processo biológico, uma vez que o metabolismo bacteriano é proporcional à temperatura: aumentaríamos o oxigênio dissolvido, ao mesmo tempo que, por outro lado, reduziríamos o seu consumo devido a um decréscimo da atividade metabólica dos microrganismos responsáveis pela estabilização. Restava-nos, pois, a possibilidade de,

(**) Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – CRHEA da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

(***) Universidade Federal de Pernambuco – Aluna do Curso de Mestrado em Hidráulica e Saneamento da EESC-USP.

(****) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP – Campus de Ilha Solteira – Aluno do Curso de Mestrado em Hidráulica e Saneamento da EESC-USP.

(*) TRABALHO APRESENTADO AO XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, EM FORTALEZA, SETEMBRO DE 1981

elevando a pressão, aumentar a desejada disponibilidade sem, talvez, afetar as velocidades de reação biológicas. Essa hipótese começou a ser testada pelo primeiro dos autores, em 1971 quando ainda dirigia o Laboratório de Hidrobiologia da Faculdade de Saúde Pública da USP. Várias circunstâncias ligadas porém à carreira docente e, posteriormente, a sua transferência para o Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, ainda em formação, em São Carlos, obrigaram-no a interromper o referido experimento. Somente a partir de 1979 puderam, os mesmos, ter continuidade, facilitados agora pela colaboração dos dois outros co-autores e motivada pelo sucesso do recente emprego da variante de tratamento denominada "deep-shaft", que constitui uma aplicação empírica do mesmo princípio.

Esta última razão veio a modificar um pouco os objetivos do experimento. A eficiência, em termos quantitativos, do aumento de pressão, já era agora conhecido, pelo emprego do "deep-shaft"; porém, notava-se uma ausência total de estudos na influência do aumento de pressão no sistema biológico responsável pela estabilização.

Constituíram preocupações principais dos autores investigar: a) o rendimento (em termos de biodegradação ou remoção de DBO) do processo de estabilização aeróbia quando submetido à pressão constante; b) a estrutura dos flocos de lodo ativado formados nessas condições.

As fontes de informações bibliográficas utilizadas neste trabalho tem duas origens fundamentalmente distintas. Uma, relaciona-se com pesquisas oceanográficas, visando o conhecimento da biologia dos organismos que habitam as profundidades, achando-se, pois, sujeitos a pressões hidrostáticas muito elevadas; outra é a que se dedica ao conhecimento da eficiência dos processos de tratamento de águas residuárias denominados "deep-shaft".

Os autores consideram importante ressaltar o fato de constituir o presente trabalho, apenas um relato preliminar de uma primeira fase de pesquisa que deverá ter continuidade. Consequentemente, muitos dos resultados aqui expostos deverão sofrer modificações em função de um aprimoramento da metodologia empregada a qual se revelou insuficiente para a investigação de alguns aspectos essenciais.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Datam de 1884 na França, as primeiras experiências de laboratório visando demonstrar os efeitos de alta pressão hidrostática sobre organismos marinhos e estas foram motivadas pela observação em 1882-1883 da existência de seres vivos em profundidades de até 6000 metros. À medida em que foi sendo possível construir-se aparelhos de laboratório que permitissem a observação desses efeitos de pressão cada vez mais elevadas, foram sendo acumuladas informações de caráter empírico levando à descoberta de que pressões da ordem de 5000 a 15000 psi, à temperatura ambiente, provocam a coagulação da albumina do ovo, inativação de enzimas, vírus e toxinas, assim como a morte de bactérias e levedos. Generalizou-se, assim, a idéia de que as altas pressões hidrostáticas desnaturam proteínas, a ponto de se suspeitar como inconcebível o efeito contrário, isto é, do retardamento ou até reversão da desnaturação de proteínas por efeito de pressões um pouco mais baixas associadas às vezes a temperatura mais elevadas. Entretanto esse último efeito passou a receber maior aceitação desde a década de 1940, como sendo o mais geral além de concordante com as modernas teorias sobre o efeito da pressão e temperatura sobre as velocidades de reações químicas.

Com efeito, a teoria de Arrhenius sobre o aumento da velocidade de reação proporcionalmente à elevação de temperatura fundamenta-se, basicamente, na ativação da molécula pela introdução de energia e aumento correspondente de colisões possíveis.

$$k = h_0 e^{-E/RT} \quad (1)$$

onde h_0 é chamado fator de frequência, R a constante dos Gases, T a temperatura absoluta e E a energia de ativação. Esta equação se ajusta aos dados experimentais numa larga faixa de temperatura sendo sugerida como uma primeira aproximação para a dependência real de temperatura.

Desta equação resulta numa relação linear ou quase linear entre o logaritmo da velocidade de reação e o recíproco de temperatura,

$$E = R \left[\frac{\ln k_{T1} - \ln k_{T0}}{1/T_0 - 1/T1} \right] \quad (2)$$

partindo da equação de Arrhenius (1) e utilizando a teoria do estado de tran-

sição (onde os reagentes se combinam, formando intermediários instáveis, chamados complexos ativados, que se decompõem espontaneamente em produtos). Nessa teoria se considera a velocidade de reação como dependente da velocidade de decomposição do intermediário. Servindo-se da mesma teoria, a qual proporciona um entendimento racional da influência de temperatura sobre as taxas de reações químicas, Johnson e Eyring (1970) propuseram uma equação semelhante para a pressão:

$$\Delta V = RT \left[\frac{\ln K_{p1} - \ln K_{p0}}{p1 - p0} \right] \quad (3)$$

onde ΔV é o volume de reação, K_{p0} é a constante de equilíbrio em p_0 e K_{p1} é a constante de equilíbrio em p_1 .

Todo processo biológico tem uma temperatura "ótima", onde a velocidade de reação é máxima e esta temperatura varia com o processo específico, as condições específicas e os organismos específicos. De maneira muito semelhante, todo processo tem uma pressão ótima sujeita aos mesmos fatores que os de temperatura.

Torna-se, assim, válida a suposição de que, dentro de certa faixa de valores, tanto a aplicação do calor quanto da pressão contribui para uma ativação dos processos físico-químicos e metabólicos.

Um sistema coloidal (ou melhor, suspensão de bactérias) deveria flocular com maior rapidez quando submetido à pressão, pois esta promove maior possibilidade de encontro das partículas. Há porém um efeito contrário, quando se trata de suspensão de bactérias. Segundo a teoria de McKinney, da floculação, o fornecimento de energia ao sistema leva à maior atividade das próprias bactérias, maior energia metabólica, maior capacidade de locomoção, portanto, menor possibilidade de floculação (in Branco, 1978).

Os efeitos da pressão sobre um sistema biológico devem, pois, exercer-se de distintas maneiras, entre as quais se destacam:

- Efeitos devidos à maior solubilização do oxigênio na água, ou no líquido residuário;
- Efeitos devidos a um provável aumento do metabolismo bacteriano (ou microbiano em geral), acelerando, por conseguinte, o consumo de substrato, o que se reflete na remoção proporcional de DBO;
- Efeitos antagônicos sobre o mecanismo da floculação biológica.

De um lado, a elevação da pressão, aumenta a frequência de choques entre as partículas (bactérias) o que proporciona maiores oportunidades de floculação; de outro lado, porém a introdução de energia (pressão) no sistema, ativando o metabolismo dos microrganismos, produz maior "energia biológica" e maior resistência à bio-floculação do sistema.

Muitos outros fatores podem ser alterados, em sistemas biológicos, por efeito de elevadas pressões hidrostáticas. Entre estes incluem-se, segundo Morita e Becker (1970), os seguintes: mudanças de pH, mesmo em soluções tamponadas, assim como no ambiente aquático; maior ionização da água; alteração da viscosidade. Além disso, a água perde algumas de suas características estruturais, que podem ser restabelecidas após adição de cloreto de sódio o que, por outro lado, significa que a presença de sais constitui, também, um dos fatores que contribuem para a maior complexidade do fenômeno. São, ainda, afetadas pela pressão, o volume específico parcial de vários compostos, o volume equivalente parcial de sais e, possivelmente, os grupos de moléculas de água que se situam em torno de uma molécula particular (especialmente proteínas). Naturalmente, tais alterações são muitos mais evidentes (e algumas somente se verificam) a pressões muito mais altas do que as empregadas no presente experimento. Pesquisadores de efeitos biológicos das pressões marinhas empregam, normalmente, em laboratório, pressões de 200 a 400 kg/cm² e até mais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS E PREPARO DO SUBSTRATO

A solução usada, como substrato, possuía a seguinte composição:

Substâncias	(mg/l)
Peptona	150
Extrato de carne	100
Glicose	350
K H ₂ PO ₄	4
Na ₂ HPO ₄ · 7H ₂ O	18,8
NaCl	10
KCl	5
CaCl	5
MgSO ₄ · 7H ₂ O	7,2
FeCl ₃ · 6H ₂ O	2,5

A diluição era feita com água destilada e apresentava uma DBO₅ de aproximadamente 350 mg/l. Quando da

utilização de substrato com maior carga orgânica, em termos de DBO₅, aumentávamos proporcionalmente as concentrações de cada componente para obter a carga inicial desejada. O substrato não apresentava sólidos sedimentáveis ou em suspensão e demonstrou possuir biodegradabilidade e características de floculação bastante próximas às do esgoto doméstico, quando submetido a ensaios de aeração em reatores biológicos para lodos ativados.

3.2. PREPARAÇÃO DO INÓCULO E UNIDADE EXPERIMENTAL

A cultura mista de microrganismos, utilizada neste trabalho, foi obtida de um reator biológico, em escala de laboratório, operando com o mesmo substrato e que teve seu inóculo obtido do esgoto doméstico.

A unidade utilizada, adequada a suportar pressões no seu interior, constituía-se de uma "autoclave modificada" conforme figura 1. A capacidade do tanque de aeração era 4,5 litros, sendo o volume de trabalho de 4 litros.

A unidade preenchida com o substrato, até um volume de 4 litros, era submetida a uma aeração sob pressão. A fonte de ar foi um compressor, o ar era introduzido na massa líquida através de quatro difusores de pedra porosa, localizados na parte inferior. O escape de ar era feito através de uma válvula, localizada na tampa da autoclave, permitindo assim a circulação do ar e o ambiente de pressão desejado. A mistura da massa líquida era feita através de um agitador magnético colocado no exterior da unidade e um ímã, no interior, que promovia a agitação (conforme fig. 1).

Os ensaios feitos em ambiente sob pressão eram acompanhados por um reator biológico, também operando descontinuamente, com volume de trabalho de 6,5 litros e aeração a pressão atmosférica.

Nos ajustes de pH, empregou-se soluções de hidróxido de sódio e ácido sulfúrico.

As paredes internas do reator eram escovadas diariamente a fim de minimizar o efeito de parede.

Foram realizados nesta fase, seis bateladas variando a concentração inicial de substrato de 620 a 1.200 mg/l em termos de DQO.

3.3. PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

Para as determinações de DQO e DBO₅ as amostras foram filtradas em papel watman 41.

Os dados microscópicos, embora subjetivos e qualitativos, serviam para observar a atividade microbiológica e a concentração em flocos.

Os sólidos voláteis em suspensão no reator, eram determinados indiretamente pela subtração dos sólidos voláteis existentes na massa líquida, antes e depois de filtrados em papel watman 41.

O teor de oxigênio dissolvido, no sistema sob pressão, era determinado eletrometricamente e apresentava, como inconveniente, freqüentes formações de bolhas de ar na ponteira do eletrodo.

4. RESULTADOS E COMENTÁRIOS

4.1. RESULTADOS

Os resultados das experiências efetuadas, encontra-se nos quadros e figuras a seguir.

Foram realizadas seis experiências, cada qual com as seguintes características de operação:

- duas experiências com carga orgânica inicial (DBO₅ = 350 mg/l), uma com aeração em pressão atmosférica e outra com pressão (2Kg⁷/cm²), ambas sem reposição de carga e sem ajuste de pH, para estudos comparativos;
- duas experiências com cargas orgânica (DBO₅ = 350 mg/l), ambas com aeração sob pressão (2,5 Kg⁷/cm²), reposição de carga e controle de pH;
- duas experiências com carga orgânica concentrada (DBO₅ = 750 mg/l) ambas com aeração sob pressão (2,5 Kg⁷/cm²) e reposição de carga, sendo uma com ajuste de pH = 7 e outra sem ajuste de pH.

O quadro 1 mostra o resumo das experiências realizadas.

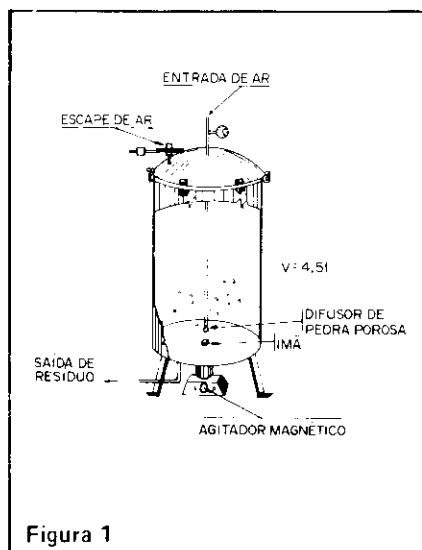


Figura 1

RESUMO DAS EXPERIÊNCIAS REALIZADAS

Quadro 1

EXPERIÊNCIAS	PRESSÃO* kgf/cm ²	CARGA INICIAL(mg/l) DBO ₅ /DQO	REPOSIÇÃO DE CARGA	CONTROLE DE pH
A	ZERO	350/620	não	não
B	2,0	350/620	não	não
C	2,5	370/610	sim	sim
D	2,5	350/640	sim	sim
E	2,5	750/1200	sim	sim
F	2,5	750/1100	sim	não

* As pressões indicadas são efetivas

DIAS DE AERAÇÃO	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	ST (mg/l)	SSV (mg/l)
0	350,0	620,0	528,0	40,0
1	320,0	440,0	452,0	42,0
2	60,0	160,0	257,0	120,0
3	32,0	60,0	250,0	105,0
4	21,0	—	162,0	56,0
5	13,0	60,0	176,0	44,0
6	10,0	50,0	152,0	42,0
7	7,5	60,0	147,0	43,0
8	8,2	55,0	110,0	33,0
9	9,5	40,0	98,0	15,0

ST – Sólidos totais

SSV – Sólidos suspensos voláteis

DIAS DE AERAÇÃO	HORA DE AERAÇÃO (h)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)
0	0	355,0	630,0
	3	351,0	500,0
1	19	270,0	370,0
	26	260,0	356,0
2	35	55,0	316,0
	45	40,0	158,0
3	60	29,0	158,0
4	91	26,0	183,0
5	101	21,0	252,0
6	132	14,0	158,0

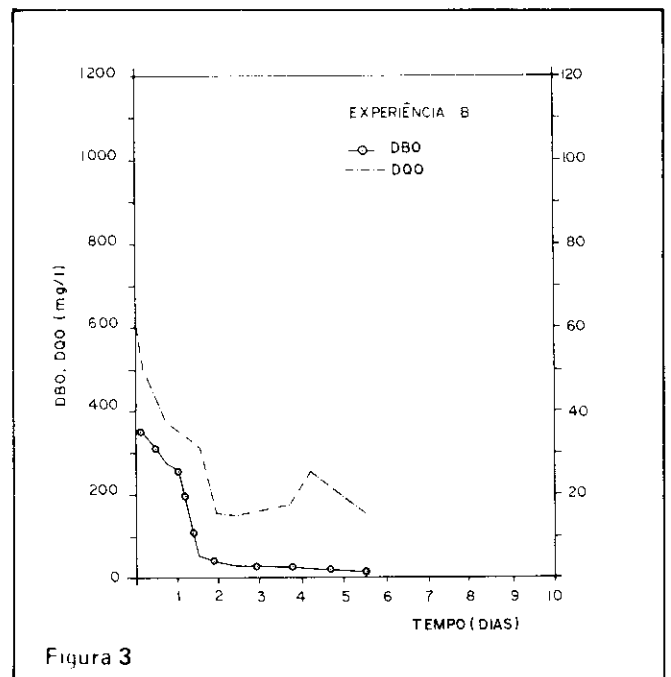


Figura 3

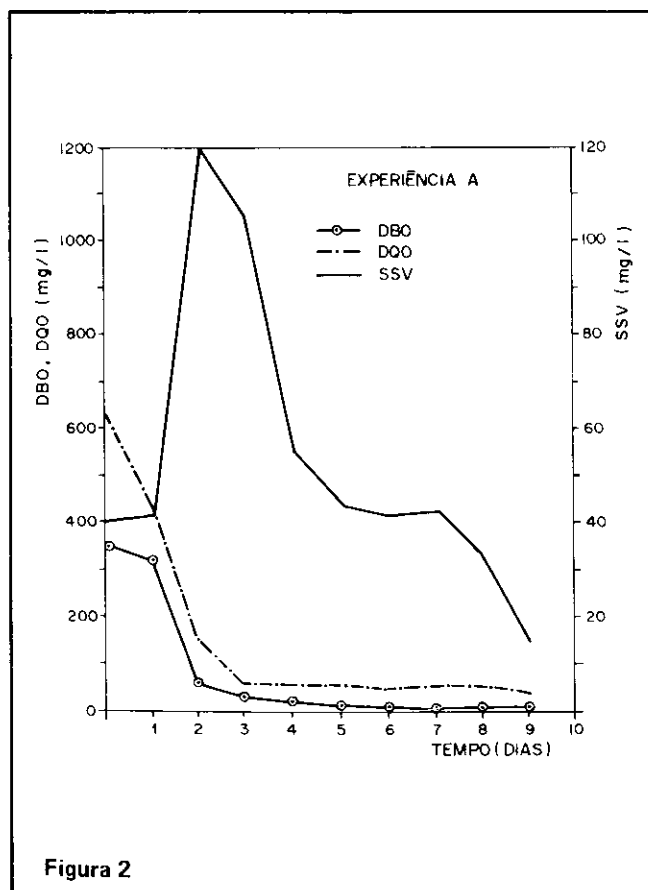


Figura 2

DIAS DE AERAÇÃO	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)
0	370,0	610,0
1	220,0	350,0
2	45,0	160,0
3	23,0	240,0
4	20,0	180,0
5	18,0	150,0
6	16,0	180,0
7	19,0	110,0

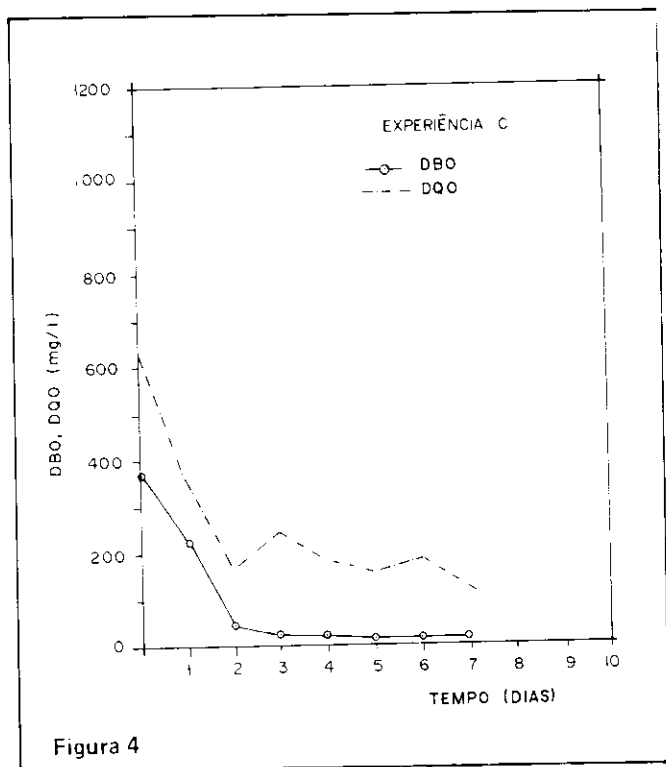


Figura 4

DIAS DE AERAÇÃO	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	ST (mg/l)	SSV (mg/l)
0	740,0	1200,0	1050,0	86,0
1	590,0	600,0	735,0	-
2	30,0	350,0	485,0	51,0
3	22,0	400,0	520,0	67,0
4	25,0	300,0	515,0	-
5	25,0	315,0	550,0	20,0
6	28,0	300,0	578,0	23,0
7	22,0	330,0	508,0	9,0
8	14,0	340,0	480,0	-
9	20,0	350,0	503,0	-

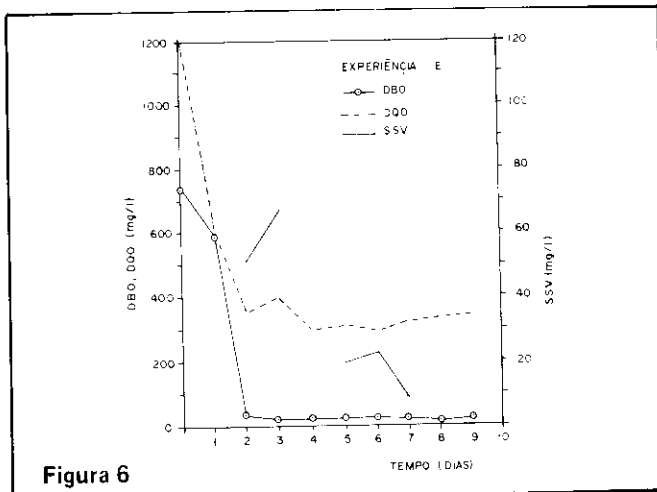


Figura 6

DIAS DE AERAÇÃO	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	ST (mg/l)	SSV (mg/l)
0	348,0	640,0	490,0	-
1	164,0	345,0	415,0	3,2
2	30,0	316,0	270,0	20,0
3	20,0	210,0	245,0	16,8
4	15,0	160,0	287,0	21,0
5	15,0	173,0	271,0	16,0
6	15,0	208,0	282,6	18,0
7	15,0	180,0	251,4	10,0
8	13,0	170,0	275,2	11,0

DIAS DE AERAÇÃO	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	ST (mg/l)	SSV (mg/l)
0	750,0	1100,0	967,0	-
1	340,0	630,0	834,0	59,0
2	45,0	270,0	406,0	50,0
3	35,0	350,0	420,0	105,0
4	35,0	375,0	598,0	85,0
5	35,0	335,0	559,0	112,0
6	30,0	375,0	567,0	56,0
7	30,0	395,0	473,0	60,0
8	25,0	315,0	480,0	230,0

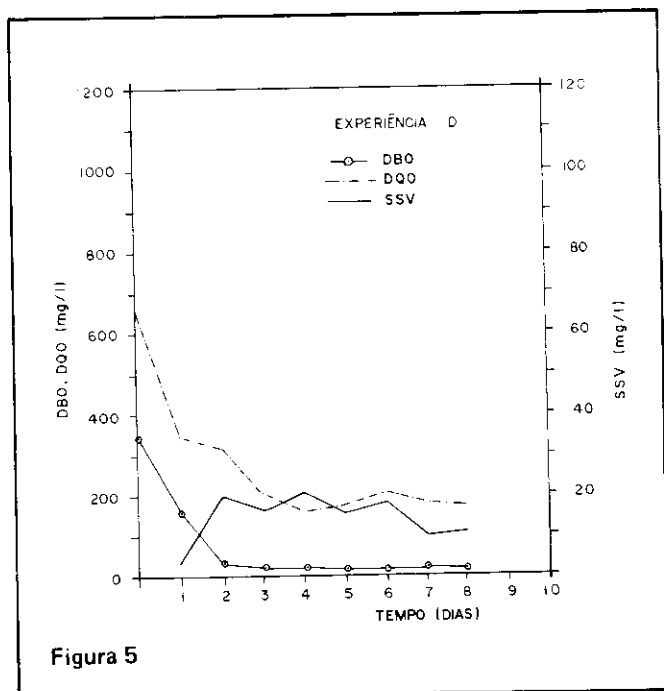


Figura 5

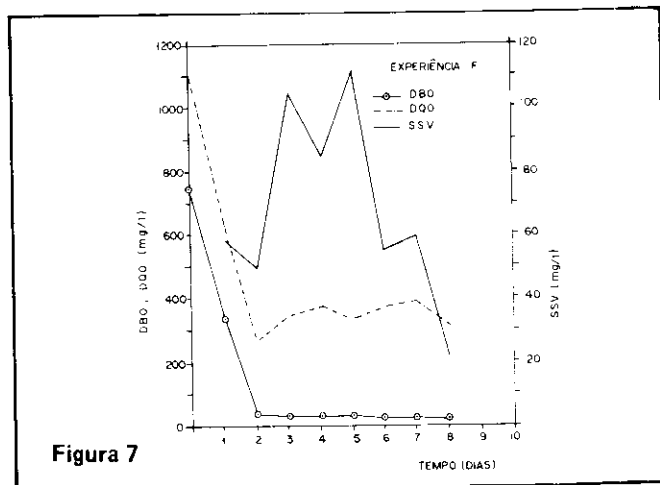


Figura 7

4.2. COMENTÁRIOS

Podemos comentar os seguintes fatos observados:

- a) os dados microscópicos, nos ensaios sob pressão, embora subjetivos e qualitativos, confirmam, entretanto, a natureza dispersa da atividade microbiológica em lugar da sua concentração em flocos.
- b) Durante o experimento não foi observada a formação sistemática de flocos ou quaisquer tipos de sólidos em quantidade suficiente para ser medida em cone Inhoff, nos ensaios sob pressão. Esporadicamente eram obtidos sólidos sedimentáveis em torno de 1 ml/l.
- c) A contagem do n.º total de colônias de bactérias, nos ensaios de aeração a pressão atmosférica, mostrou-se inadequada quando comparada com os ensaios sob pressão, em vista da natureza dispersa dos organismos neste último.
- d) Apesar da impossibilidade de se fazer a medição de OD variando com o tempo, a sua concentração, no reator sob pressão, esteve sempre superior a 9 mg/l.
- e) Nos ensaios sob pressão, principalmente, foi observada uma determinada elevação dos valores de DQO enquanto os valores de DBO permaneceram decrescentes. Isso se deve não só a matéria originada da solubilização do material celular durante o fenômeno da lise celular como também a passagem de "massa celular" através do papel de filtro e detectada na DQO.

4.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA DE TRABALHO

O objetivo deste trabalho, nesta primeira fase, não era o de testar um tipo de aparelho ou estrutura física mais adequada ao processo de tratamento sob pressão, nem a obtenção de parâmetros que refletissem as melhores condições de operacionalidade do sistema. Os dados quantitativos de rendimento, em termos de remoção de DBO e DQO tem como finalidade apenas demonstrar a aceleração ou retardamento de processos metabólicos.

Entretanto, tendo em vista a metodologia empregada, melhores resultados poderiam ser obtidos, com observações mais coerentes e precisas dos fenômenos através da utilização de "equipamentos mais sofisticados" que permitissem o controle adequado das condições de operação, tais como:

- controle de temperatura do reator;
- esterilização do ar de alimentação do reator;
- reator com visor, para observação macroscópica da floculação;
- utilização do reator em sistema de funcionamento contínuo;
- análises de DBO e DQO solúveis;
- determinação de parâmetros bioquímicos.

Tais considerações são necessárias visando a continuidade do trabalho com base em uma metodologia mais adequada para melhor compreensão dos fenômenos.

5. AGRADECIMENTOS

À CETESB que através de convênio com o CRHEA, tornou possível a realização deste trabalho.

Às técnicas de Laboratório, Amé-rica Jacinto de Moraes e Luci Aparecida de Queiroz.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Johnson, F.H.; Eyring, H. 1970. The kinetic basis of pressure effects in biology and chemistry. in: *High Pressure Effects on Cellular Processes: 1-44*. Academic Press.
2. Morita, R.Y.; Becker, R.R., 1970. Hydrostatic pressure effects on selected biological systems. in: *High Pressure Effects on Cellular Processes: 71-83*. Academic Press.
3. Branco, S.M., 1978. *Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária*. CETESB.
4. Speece, R. et alii. U - Tube aeration Operating Characteristics. *Journal of the ASCE*, June 1969, pg. 563, 574.
5. Speece, R. - Design of U - Tube Aerations Systems. *Journal of the ASCE*, June 1970.
6. Hines, D.A. et alii Deep Shaft aeration Process for Effluent Treatment. *Institution of Chemical Engineers at York*, April 1975.
7. Bruijn, J.; Tuinzaad, H. - The relationship between Depth of U - Tubes and the Aeration Process. *Journal AWWA*, July 1958, Pg. 879-885.
8. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 13.º Ed., New York, Am. Publ. Health, Assn, 1971.