

Aspectos ecológicos do filtro biológico

Aristides Almeida Rocha (1)

1. INTRODUÇÃO

A medida que o homem, dotado de juízo, raciocínio e reflexão foi acumulando conhecimentos e desenvolvendo a sua capacidade criativa, paralelamente foi também modificando e plasmando o meio ambiente, através de um gradativo processo de avanço tecnológico, sempre em busca do conforto e bem-estar.

Como ser gregário, agrupou-se nas cidades, em geral estabelecidas próximas de cursos d'água e com sua atividade sempre crescente foi gerando cada vez mais resíduos sólidos, líquidos e gasosos.

Um primeiro óbice ao desenvolvimento constituiu, portanto, o grave problema de como e onde dispor os dejetos criados pelo próprio ser humano.

Assim, desde os primórdios da civilização vêm sendo pesquisados e desenvolvidos métodos adequados a cada situação em particular, no sentido de dispor ou reutilizar os resíduos, evitando ou minimizando os seus efeitos sobre o meio ambiente.

Na Europa, especialmente na França, na Inglaterra e na Alemanha, desde o início e meados do séculos passado, procurou-se a adoção de medidas para controlar os crescentes problemas sanitários e de saúde pública decorrentes da disposição simples dos esgotos domésticos a céu aberto nas ruas ou fossos dos castelos ou, ainda, resíduos gerados da atividade industrial, que começa a ganhar corpo, na Inglaterra.

Nessa época houve uma certa euforia com o chamado princípio de Chadwick "da recirculação sempre, estagnação nunca" em uma analogia com a circulação do sangue no corpo humano, levando então às primeiras e efetivas tentativas de afastamento dos dejetos e disposição no solo de onde o líquido, após a estabilização da matéria orgânica, era retirado através da drenagem em canais no próprio terreno.

Ressalta-se, porém, que essas tentativas foram talvez pioneiras na civilização moderna, conquanto os romanos já possuíssem a "cloaca máxima" e os Incas dispusessem seus dejetos no solo.

Enfim, a partir da observação desses primeiros processos, chega-se então aos tratamentos biológicos que, inicialmente, utilizados desde o final do século 19, atravessaram os anos, talvez com poucos aperfeiçoamentos, posto que envolvem no seu princípio básico de funcionamento as reações bioquímicas vitais, quais sejam a fotossíntese e a respiração.

Quanto ao filtro biológico, objeto do tema que ora se disserta, surge ao final do século 19, através de observações, pesquisas e estudos de sanitaristas renomados como Dunbar, Corbett, Stoddard, além do grupo de técnicos e professores da Estação de Tratamento de Esgotos de Lawrance.

As primeiras instalações do chamado "Percolating System" foram operadas nas cidades de Chesterfield e Birmingham, na Inglaterra, respectivamente nos anos de 1901 e 1905. Naquela época, verificaram que uma mesma área depurava o dobro e até o triplo do volume de esgotos quando o efluente era enviado a um filtro percolador ao invés de ser disposto em um leito de contato. Além do mais o custo era menor e a operação era muito mais simples. Havia uma melhor aeração natural e o sistema suportava melhor eventuais sobrecargas temporárias.

1.1 Aspectos sucintos da autodepuração natural

Para entender qual a dinâmica que envolve o tratamento biológico de esgotos é necessário abrir-se um parêntesis a fim de que se disserte, ainda que de modo sucinto, de como é o comportamento de um corpo d'água qualquer ao receber uma carga poluente biodegradável.

Qualquer coleção d'água receptora sofre uma série de influências de natureza física, química e biológica que influem efetivamente no processo natural de depuração. Alinhando de modo simplista, tem-se:

a) ação da gravidade — que é responsável segundo observações de vários pesquisadores, pela remoção de cerca de 40% de DBO total em um corpo hídrico;

b) turbulência — que pode ter efeitos antagônicos ou diversos, isto é, influi positivamente para a oxigenação ou ao revolver material do fundo, concorrer para uma maior demanda de oxigênio.

c) diluição — fator extremamente importante, posto que a matéria orgânica biodegradável desde que em quantidade compatível com a demanda bioquímica que exerce não é prejudicial, pelo contrário, desde que o corpo d'água se destine à criação de peixes ou mesmo à simples manutenção da ecologia aquática é até interessante;

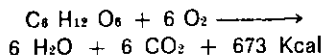
d) radiações — a luz solar em seus vários comprimentos de onde tem poder germicida e forma também um chamado "clima de luz" de extrema importância, principalmente, aos seres autótrofos ou produtores;

e) temperatura — do ponto de vista da ecologia aquática é importante, pois constitui até um paradoxo ecológico quando se trata de peixes. Quando a temperatura está mais alta, a volatilização do oxigênio é mais intensa e no entanto é o momento em que se dá a maior atividade metabólica dos peixes exigindo maior oxigenação. A temperatura está relacionada ainda às possibilidades de estratificação térmica, o que condiciona a distribuição e atividade de microorganismos diversos na massa d'água;

f) respiração — o fenômeno bioquímico da respiração envolvendo a glicólise (fase anaeróbia) decompondo a molécula orgânica do açúcar (glicose) em duas moléculas de ácido pirúvico com a produção de duas moléculas de ATP (adenosina trifosfato) altamente energético; o ciclo de Krebs ou dos ácidos tricarbóxicos, onde uma série de decarboxilações ocorre com a formação de 30 ATP e a cadeia respiratória, um transporte

(1) Professor livre-docente da Faculdade de Saúde Pública, biólogo da Cetesb-Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

oxidativo de elétrons, com a formação de 6 ATP, de tal forma que o rendimento final do processo respiratório completo é de 38 ATP, leva a um consumo de oxigênio e produção de gás carbônico, como indica a reação simplificada, liberando energia.



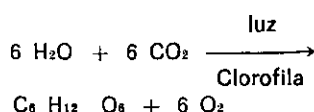
Ora, em um corpo d'água esse processo tem importância fundamental para a qualidade da água, que será dependente da qualidade e quantidade, isto é, das espécies de organismos que aí predominam. Isto, porque, para estabilizar a matéria orgânica (matéria carbonácea e nitrificação), os microorganismos têm que adaptar-se ao substrato, utilizar a sua carga enzimática, solubilizar o material e respirar consumindo oxigênio dissolvido, aumentando assim a demanda bioquímica de oxigênio. Parte da energia é no entanto utilizada para a construção de novas células;

g) fotossíntese — neste processo que é inverso ao da respiração onde ocorre uma etapa fotoquímica extremamente rápida, praticamente instantânea por ressonância eletrônica, a molécula de clorofila é excitada e libera elétrons que por fotofosforilação cíclica ou acíclica (a primeira por duas vias) formam ATP (adenosina trifosfato) e NADPH (nicotina adenina dinucleotídeo fosfato reduzido) que são compostos produzidos por via enzimática e que serão utilizados na segunda etapa da fotossíntese, uma etapa química muito mais lenta que a primeira (0,04 segundos).

Ainda na primeira etapa, dá-se a fotólise da água ou reação de Hill onde a água é decomposta em H⁺ e OH⁻ recompondo a molécula (elétrons) perdida pela clorofila na fase de fotofosforilação acíclica.

Na etapa química há apenas uma transformação de açúcares, também conhecida como "Shunt" da glicose, quando ocorre a formação dessa hexose.

Simplificadamente o processo é representado exatamente como o inverso da respiração:



A importância para a utilização dos compostos orgânicos, principalmente na água, está na produção ou síntese

orgânica, na absorção de nutrientes proporcionada pelos vegetais além da liberação do oxigênio;

h) predatismo e parasitismo — as relações ecológicas através das associações biológicas ou da atividade predatória e parasítica dos microorganismos são fundamentais para a estabilidade de cada grupo de seres ou das populações na comunidade aquática para evitar que haja o predomínio desta ou daquela espécie, mantendo então o equilíbrio harmônico e dinâmico;

i) antibióticos e toxinas — liberados por certas bactérias e mesmo protozoários, funcionam para evitar o avanço deste ou daquele ser em determinado nicho ecológico e,

j) aglutinação ou floculação — para a remoção da matéria orgânica da massa líquida é fundamental a formação do floco que é de natureza coloidal e biologicamente ativo pois, é através dele que há a possibilidade de a matéria orgânica solúvel sedimentar. A propósito, durante muito tempo, pensou-se que a matéria orgânica floculada só existia pela ação da bactéria *Zooglea ramigera* que secretava mucilagem. Em 1956, no entanto, McKinney elaborou a teoria, através de observações de laboratório, de que qualquer bactéria pode participar na formação de floco. Comparou ele, o floco, com as micelas de um colóide inorgânico em que estão envolvidas as forças de natureza eletrocinética (absorção de íons) causando repulsão; as forças de Van Der Waals atraindo. Durante o movimento browniano de choque das moléculas, há uma aglutinação, quando o potencial zeta é inferior a 15 mvolts. Em culturas puras, por eletroforese, verificou-se que o potencial de 6 a 12 mvolts nas bactérias, ainda não é suficiente para flocular.

A explicação está em que nas bactérias há uma terceira força envolvida que é a atividade de locomoção por força de ação metabólica. Assim, as bactérias só floculam na fase endógena de crescimento, apesar de possuírem um baixo potencial zeta.

Há ainda a possibilidade de floculação por morte de protozoários ciliados, de corpos esféricos, que ao morrer liberam o conteúdo citoplasmático floculando e também protozoários capazes de secretar muco aglutinante de matéria orgânica e bactérias.

Todos estes fenômenos que ocorrem naturalmente nos corpos d'água são então transportados a sistemas fechados onde o maior e mais íntimo contato com o material orgânico (ali-

mento) proporcionado aos microorganismos, a maior disponibilidade de oxigênio dissolvido e a presença de nutrientes minerais podem acelerar a estabilização orgânica.

O oxigênio como se desprende, pode ser fornecido por via de reaeração atmosférica ou via endógena ou bioquímica (algas).

Vistos esses aspectos fundamentais pode-se voltar a discorrer especificamente sobre os filtros biológicos.

2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA-DESCRIÇÃO DA UNIDADE

O filtro biológico é um reator com leito percolador para estabilização de matéria orgânica biodegradável que antes é decantada em um decantador primário.

Na realidade, não é propriamente uma filtração pois, no processo real de filtração, o líquido flui através de material poroso enquanto no filtro há atividade de microorganismos decompondo a matéria orgânica.

O leito percolador está envolto em um recipiente circular, mas existem mais raramente de forma quadrada e até retangular. As construções são de alvenaria ou concreto.

No topo da coluna vertical há dispersores e na extremidade inferior drenos para entrada de ar e retirada do efluente.

O efluente, em geral, passa a um decantador secundário, pois possui muitos sólidos em suspensão. As vezes há também recirculação.

As alturas do recipiente e coluna percoladora são variáveis, em geral em média de 1 a 5 m. Algumas vezes há uma cobertura e então há a necessidade de janelas, telas gradeadas, ventilador e porta para inspeção. Em São Paulo são exemplos a ETE da rua do Manifesto, no Ipiranga, e do Educandário, no km 19 da via Raposo Tavares, que têm filtros cobertos.

Existem filtros de baixa capacidade que operam com carga de 2,2 m³/m²/dia ou pouco mais e DBO₅ 20°C menor que 200 mg/l e os de alta capacidade com carga de 8,5 a 28 m³/m²/dia e DBO variável de 500 a 1.800 mg/l havendo ou não recirculação.

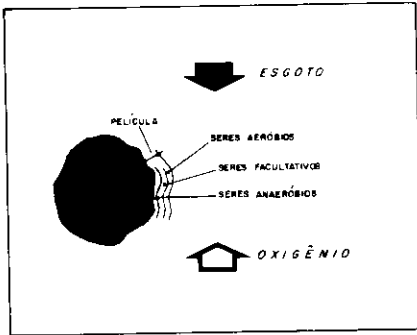
O material do leito percolante nos filtros de baixa capacidade pode ser composto de brita, pedregulho (seixos rolados), coque e carvão e nos de alta capacidade de materiais sintéticos como o PVC, polipropileno, agregado leve formado da compactação de lodo de esgoto.

2.1 Aspectos ecológicos da estabilização do filtro biológico

Já foi visto anteriormente como pode ocorrer a formação do floco biológico. No filtro biológico o floco tem apoio e sustentação no material que forma o leito percolante e por onde o ar circula entre os interstícios ou espaços que existem entre a brita, pedregulho ou outro material que eventualmente forma o filtro.

No geral, o diâmetro das pedras está ao redor de 3 a 9 cm que tem a função, como já se disse acima, de suportar a biomassa.

O esquema abaixo indica como o ar circula normalmente e como é formada a película biológica.



A difusão do oxigênio depende da diferença de concentração existente e da saturação (déficit) e da natureza do esgoto. A difusão é lenta, havendo uma maior oxigenação pela renovação superficial (turbulência) provocada pela chamada onda de esgoto.

Nos filtros de baixa capacidade há muito oxigênio na superfície e pouco nos interstícios, havendo portanto uma grande demanda de oxigênio nas camadas mais inferiores. Nos de alta capacidade há pouca demanda de oxigênio mas ocorre um arraste de sólidos, isto é, uma perda maior de material orgânico em suspensão. No inverno, principalmente nos países de clima temperado não há convecção do ar contendo oxigênio, mas o esgoto escorre e penetra de cima para baixo e assim o OD e a DBO vão diminuindo. No verão o ar é descendente (convecção) e a reposição do oxigênio é proporcionada pela dispersão do esgoto (turbulência na superfície).

Nos filtros, portanto, é preciso evitar a obstrução dos espaços vazios procurando então uma granulometria adequada do material percolante, o controle da vazão para não afogar a biomassa e evitar o exagerado espessamento da película biológica.

A película biológica ou biomassa absorve a matéria orgânica fazendo a síntese de novas células e auto-oxidação das células formadas metabolizando a matéria orgânica antes de atingir a camada média do filtro. Não havendo carbono, os microorganismos entram em auto-oxidação perdendo a capacidade de aderência, sendo arrastado, daí a necessidade do decantador secundário. Começa então a se desenvolver uma nova camada.

Não havendo arraste, há a obstrução e anaerobiose e, portanto, advém disso a necessidade do decantador primário. A oxidação da matéria carbonácea e a subsequente nitrificação, indicam os dados empíricos e exigem temperatura ao redor de 20-25°C, OD superior a 1 mg/l e pH 7,5 a 8,5.

2.2 Aspectos da biomassa (película biológica) e principais organismos envolvidos

A biomassa não é, na verdade, somente uma zooglea mas sim uma variedade de microorganismos.

Na camada superficial há fungos, bactérias, protozoários e algas filamentosas; na camada intermediária, fungos filamentosos (hifas), protozoários, vermes nematóides; na camada inferior, protozoários e bactérias anaeróbias; nos espaços vazios, micélias de fungos, bactérias e protozoários e, circulando livremente em toda a massa, organismos móveis.

Hawkes ressalta que os fungos são tão importantes como as bactérias na degradação da matéria orgânica e Painter chega a valores de 5 a 30% desses vegetais, isto é, 5 a 30% dos sólidos totais da película gelatinosa seriam fungos e portanto eles devem ter seu crescimento controlado. De acordo com Cooke e colaboradores são os nemátodes, rotíferos, tardígrafos e anelídeos, moluscos, ácaros e insetos que controlam a proliferação dos fungos.

O Water Research Centre 1980 indica que a mosca *Psychoda*, embora cause problemas à população, até 1,5 km de uma estação de tratamento, é importante no controle da película biológica. Essa mosca tem seu ciclo acelerado quando em temperaturas de 29,5°C. Nesse caso o ciclo é de sete dias enquanto a 15,5°C, o ciclo dura 22 dias. Quanto aos vegetais clorofilados, Bronco ressalta que as algas contribuem para repor cerca de 5% do oxigênio dissolvido que é consumido pela população microbiana.

Utilizando a experiência prática com observações no filtro biológico do Hospital do Mandaqui, em São Paulo, e dados da bibliografia é possível relacionar sucintamente os seguintes organismos que participam do processo de estabilização nos filtros biológicos:

a) Vegetais

Bactérias — *Beggiatoa* (anaeróbia), *Sphaerotilus natans* (filamentosa), *Balularia pullulans*, *Corniothyrium fuckelle* (cor amarelada), *Alcaligenes faecalis* (cor amarelada), *Nitrosomonas*, *Nitrobacter* (nitrificação) $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3$ (17 e 66 kcal), *Chromatium* (anaeróbia), *Spirillum* (anaeróbia), *Noctardia*, *Streptomyces* (actinomicetos);

Fungos — *Fusarium aquaeductum* (cor alaranjada), *Leptomitus lacteus* (tapetes aczentados ou brancos no inverno), *Geotrichum candidum*, *Pullularia pullulans*, *Corniothyrium fuckelle*, *Sepodinium*, *Ascoidea rubescens*;

Algas — *Stigeoclonium* (verde-clorofíceia), *Euglena* (fitoflagelado), *Chlorella* (verde-clorofíceia — 5% OD), *Oscillatoria* (azul-cianofíceia nostocales), *Phormidium* (azul-nostocales);

Briófitas — *Mussi* (musgo), *Marchantia* Hepaticae;

b) Animais

Protozoários — *Epistylis*, *Opercularia*, *Paramaecium*, *Oxytrichia*, *Euplontes*, *Oicomonas*, *Tetramyctus*, *Peranema*, *Arcella* e *Difflugia* (Tecamoaeba) *Amoeba* (*Vahikamphia*), *Metopus* (anaeróbio);

Metazoários

Arthropoda: Insecta — Diptera; *Anisopus*, *Psychoda*, *P. alternata*, *Polyptedilum*, *Harnischia*, *Crisotopus*, *Glycotendipes*.

— Collembola; *Hypogastrura viatica*, *Archourutes subviaticus*;

Acari — *Histiogaster*, *Histioma* (Oribatidae).

Anellidae, Oligochaeta — *Lumbricillus*; *Enchytraeus*; *Tubifex*; *Limnodrylus*.

Platyhelminthes
Nematoidea
Rotifera

3. EFICIÊNCIA, PROBLEMAS OPERACIONAIS E POSSÍVEIS SOLUÇÕES. BREVE RELATO

Os dados da bibliografia indicam eficiências da ordem de 65 a 85% de remoção de DBO e 80 a 90% de sólidos suspensos.

Dentre os problemas que esse sistema de tratamento pode apresentar destacam-se:

a) excesso de algas — o que pode ser combatido com jatos fortes de água, à qual se adiciona um algicida. Em geral o sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$);

b) espessamento da película biológica ou aumento da biomassa não compatível com a operação; a resolução está em paralisar o processo por alguns dias ou clorar o efluente, o que é dispendioso pela demanda de cloro. Outra alternativa é o aumento da vazão;

c) excesso de carga orgânica — pode ser alternada com a redução da DBO por uma decantação primária ou cloração;

d) odor — pode-se minimizar com ventilação e controle da carga orgânica e,

e) proliferação da massa *Psychoda* — combater com inseticida (BHC, 1,5 kg/dia) ou inundar o filtro.

4. BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE O FILTRO BIOLÓGICO ANERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE

A ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da norma NB-41, recomendava a adoção de um decantodigestor (fossa) e envio do efluente após a digestão anaeróbia a um sumidouro ou vala de infiltração (em anexo o esquema da digestão anaeróbia).

Recentemente, a revisão NB-7229 de março de 1982 propõe, como alternativa, enviar o efluente do decantodigestor a um filtro biológico anaeróbio de fluxo ascendente.

Esse tipo de filtro é um reator com leito de material de enchimento que pode ser brita n.º 4, ou plástico (anéis de rasking ou feixes) onde o esgoto é introduzido pela extremidade superior.

É um sistema diferente do filtro convencional por sua capacidade de reter a maior parte do lodo biológico, isto é, bactérias.

O material de enchimento (leito percolante) atua também como barreira física, sendo o material estruturalmente forte, mas leve, proporcionando uma redução da área e possuindo grande área superficial deixando muitos espaços vazios (cerca de 60% de espaços).

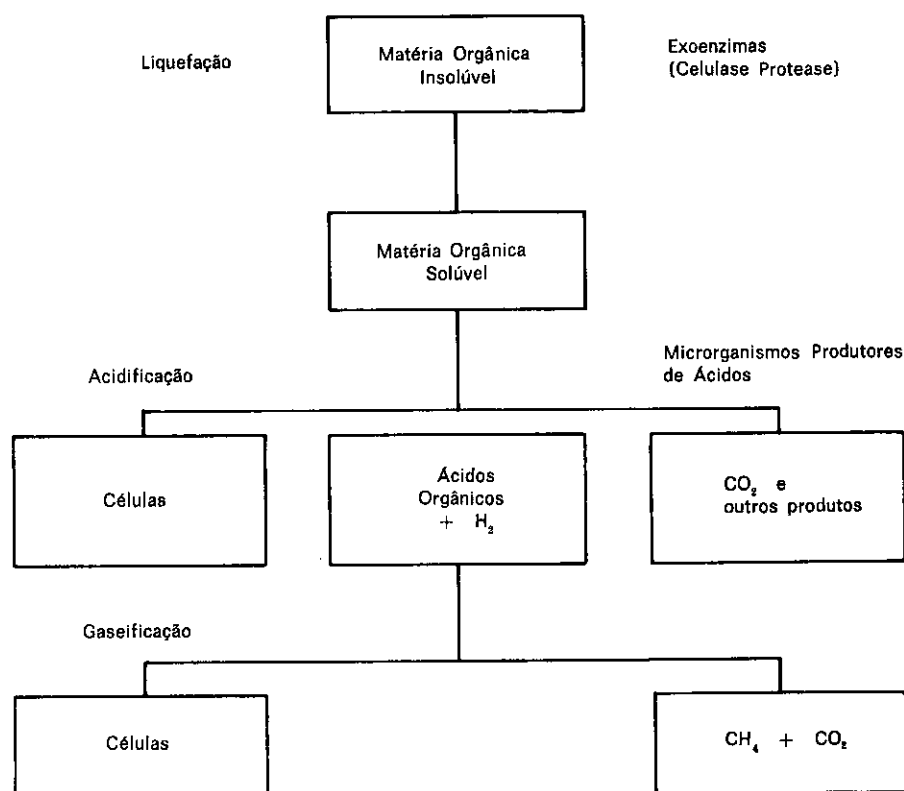
O funcionamento é a partir de um decanto-digestor, estabilização da matéria orgânica e remoção de sólidos em suspensão que periodicamente são removidos. O líquido clorificado vai ao filtro biológico anaeróbio de fluxo ascendente cujo leito fica sempre submerso.

O sistema apresenta muito boa eficiência, haja vista a experiência da Cetesb-Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental, que na Diretoria de Pesquisa operou um filtro desse tipo de 2 m³, sendo 0,5 m³ para câmara de decantação e 1,5 m³ para digestão e arejamento do lodo, obtendo valores superiores a 85% de remoção de sólidos suspensos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 — Além Sobrinho, P. Filtros biológicos de alta taxa. Comparação de meios de suporte de biomassa. Relatório Cetesb, jan 1982.
- 2 — Branco, S. M. Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária. Cetesb, SP, 1978.
- 3 — Cooke, W. B. Hirsch, "A Continuous sampling of trickling filter populations II". Populations Sewage and Industrial Wastes EUA. **30**: 138-157, 1958.
- 4 — Hawkes H. A. The ecology of sewage bacteria in fifth symposium of the British Ecological Society, Inglaterra, 1965.
- 5 — Metcalf & Eddy Inc. Waste water engineering treatment disposal. Tat McGraw Hill, New Delhi, India. 1979.
- 6 — Painter H. A. Factor affecting the growth of some fungi associated with sewage purification. *The journal of general microbiology*. Inglaterra 10 (1): 177-190, 1954.
- 7 — Souza, M. E. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. Cetesb In V Simpósio Nacional de Fermentação, Viçosa, MG, jul 1982.

ANEXO ESQUEMA DA DIGESTÃO ANAERÓBIA



OBS.: Participam do processo bactérias Psicrófilas, Mesófilas, Termófilas e Criófilas, de acordo com a tem-

peratura em que atuam. Destacam-se os gêneros: *Methanosarcina*, *Methanobacterium* e *Methanococcus*.