

A tecnologia da digestão anaeróbia para o tratamento de despejos líquidos

JOSÉ DALTRO FILHO

Professor do Depto. de Engenharia Civil do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de Sergipe

O trabalho apresenta estudo sobre a digestão anaeróbica como uma alternativa para o tratamento de águas residuárias, descrevendo-se a sua fundamentação teórica e os sistemas em uso, na atualidade, pela engenharia sanitária.

A digestão anaeróbia como uma técnica de tratamento de despejos líquidos tem despertado grande interesse nos últimos anos. Apesar de toda euforia, a biotecnologia anaeróbia ainda se constitui num fato novo, devido ao pouco conhecimento dos principais fatores que orientam os fenômenos responsáveis pela degradação dos despejos.

Ao comparar os custos de tratamento dos despejos líquidos, principalmente de despejos líquidos industriais, verifica-se que maior destaque é dado ao tratamento por digestão anaeróbia, porque existe um mínimo de consumo de energia; a produção líquida de sólidos é bem menor que a dos processos aeróbios, e ainda existe a produção do metano como subproduto aproveitável.

CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS SOBRE A DIGESTÃO ANAERÓBIA

O tratamento anaeróbio tem como um dos objetivos a produção de metano. Para tanto, são necessárias condições favoráveis a fim de que haja conversão biológica da matéria orgânica do despejo em metano. Essa transformação é devida ao consórcio entre bactérias quimo-heterotróficas não metanogênicas e bactérias metanogênicas. Essa transformação ocorre segundo as fases que seguem (ver figura 1):

- hidrólise de biopolímeros
- fermentação de aminoácidos e açúcares
- oxidação anaeróbia de ácidos graxos e álcoois
- oxidação anaeróbia de produtos intermediários, tais como os ácidos voláteis
- conversão de acetato para metano
- conversão de hidrogênio e CO₂ para metano

Para que haja a transformação da matéria orgânica segundo estas fases, existe a participação de cinco grupos de microrganismos.

A hidrólise é o primeiro passo requerido pela microbiologia, para a utilização de polímeros complexos. Essas substâncias são antes cindidas, pois

as bactérias não têm capacidade para desagregar a matéria orgânica particulada.

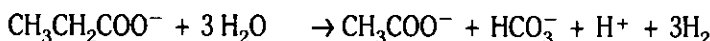
No decorrer do processo de degradação, novas células são sintetizadas. A hidrólise pode ser representada por uma reação cinética de primeira ordem, que reflete o efeito cumulativo de todos os processos microbiológicos que ocorrem no reator. Um grande número de fatores afeta a taxa com que os diversos materiais são hidrolisados. Partículas com grande estrutura molecular e com uma baixa relação entre superfície e volume são hidrolisadas mais lentamente do que partículas de pequena estrutura molecular, como descrito em Gujer e Zehnder⁽²⁾. Amido, proteínas e celulose são degradados em diferentes taxas.

A fermentação é definida como um processo microbiológico, no qual o composto orgânico serve como doador e receptor de elétrons. O hidrogênio produzido durante a fermentação é originário da desidrogenação de piruvato. De acordo com Thauer *et al.*, *apud*⁽²⁾, este mecanismo de produção de hidrogênio não pode ser inibido pela elevação da pressão parcial de hidrogênio (em torno de 0,5 atm. de H₂). A pressão de hidrogênio no reator deve ser mantida em níveis baixos para favorecer as condições termodinâmicas para a conversão dos ácidos voláteis e álcoois a acetato.

A oxidação anaeróbia é definida como um processo microbiológico, no qual o hidrogênio molecular é o condutor de elétrons. O hidrogênio é produzido via reação de redução de piridina, dinucleotídeos e ferredoxina, ou seja, uma transferência de elétrons para prótons. Durante a degradação de ácidos graxos de cadeias longas, o hidrogênio é produzido e inibe a reação. Os organismos que catalisam esta reação servem para degradar butirato. Como a formação do metano a partir do hidrogênio depende do pH, a oxidação anaeróbia é inibida em pH baixo pela acumulação de hidrogênio. De acordo com estudos de Huser *et al.*, *apud*⁽²⁾, a *M. soehngenii* tem um pH ótimo de 7,4 – 7,8 e se torna inativa em pH abaixo de 6,8.

Na oxidação anaeróbia de produtos intermediários, o butirato é provavelmente degradado como ácido graxo de grande estrutura molecular. Essa afirmação foi comprovada por McJerney *et al.*, *apud*⁽²⁾ onde se observou que *Syntrophomonas wolfei* não somente oxida butirato, mas também caproato, caprilato, valerato, heptanoato e isoheptanoato. Nenhum outro organismo ainda tinha sido isolado, e que pudesse oxidar butirato e os ácidos graxos de estrutura molecular grande, usando somente prótons como aceptores de elétrons.

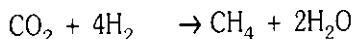
Propionato é degradado para acetato, CO₂ e H₂. A equação estequiométrica apresentada a seguir foi proposta por Kaspar e Wuharmann, *apud*⁽²⁾, como representando a degradação de propionato:



Setenta por cento do metano produzido em um digestor provém da descarboxilação de acetato, como mostra a reação abaixo.



Na metanogênese do hidrogênio e CO₂, diversos microrganismos participam da conversão dessas substâncias a metano. A reação

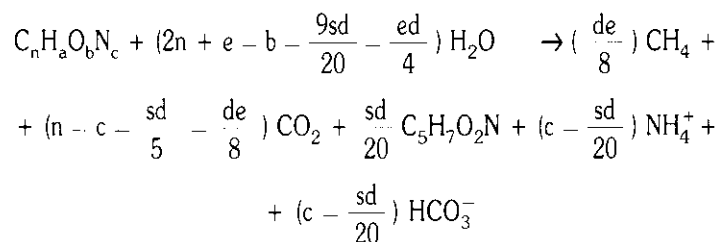


é devida a Zehnder *et al.*, *apud*⁽²⁾. Estes autores caracterizaram uma cultura pura de *Methanobrevibacter arboriphilus*, extraída de um digestor.

As bactérias metanogênicas são, portanto, consideradas como os microrganismos chaves na biotecnologia anaeróbia. Em estudos realizados por Blach *et al.*, *apud*⁽⁶⁾, foi observado através de 16 SrRNA (refere-se a uma fração de RNA), que as bactérias metanogênicas são filogeneticamente distintas dos microrganismos típicos procarióticos. As paredes das células dessas bactérias não contêm os ácidos murâmicos, como ocorre com outros microrganismos procarióticos. Por isto, essas bactérias têm sido classificadas como do grupo *Archaeobacteria*, que é uma nova proposta de grupo filogenético, segundo Woese e Fox, e citado em Speece⁽⁶⁾.

Para que um processo anaeróbio desenvolva com normalidade, é necessário que haja equilíbrio entre a descarboxilação do acetato, entre a oxidação do propionato e a oxidação do hidrogênio. Os limites ótimos das três reações estão condicionados aos controles das concentrações do propionato, do hidrogênio e do acetato. Por exemplo, para o caso de um digestor cuja concentração de acetato e propionato é de 10⁻⁴ a 10⁻³ molar, a pressão parcial de hidrogênio não deve exceder de 10⁻⁴ bares. Outro fator, também de relevante importância, é o tempo de retenção de sólidos. Levando em conta o tempo de detenção celular e a própria termodinâmica de um sistema anaeróbio, pôde-se concluir que: dentro de uma fração de segundos, a acumulação de hidrogênio inibe a oxidação de propionato⁽²⁾. Por outro lado, a acumulação de acetato reduz o pH no reator, e como resultado tem-se a diminuição da eficiência de oxidação do hidrogênio, que aumenta a pressão parcial, permitindo a ocorrência do primeiro inconveniente citado.

A presença de nutrientes é de importância capital para o bom funcionamento de um sistema anaeróbio. McCarty, citado em⁽⁶⁾, desenvolveu a seguinte relação estequiométrica da necessidade de nitrogênio para um esgoto industrial.



onde:

$$d = 4n + a - 2b - 3c$$

s = fração de esgoto sintetizado

C_nH_aO_bN_c = fórmula empírica da matéria orgânica digerida.

A necessidade de fósforo está em torno de 15% da necessidade de nitrogênio. Além do nitrogênio e fósforo, existem os micronutrientes ou traços de nutrientes, que são também de importância para as metanogênicas. O conhecimento preciso dos micronutrientes parece ser um grande passo para o melhor entendimento do tratamento anaeróbio.

O funcionamento incorreto de um sistema anaeróbio, com o aumento dos limites de ácidos butíricos e propiônicos, pode ser devido à falta de micronutrientes. A sua inadequação reflete-se seguramente nas atividades nutricionais das bactérias acetogênicas que são responsáveis pela conversão a acetato e a hidrogênio, conforme citado por Speece⁽⁶⁾.

Ferro, cobalto, níquel e sulfeto têm-se mostrado obrigatórios para a nu-

trição das bactérias metanogênicas durante a conversão do acetato para o CH₄. Molibdênio, tungstênio e selênio são também lembrados como necessários⁽⁶⁾.

SISTEMAS DE DIGESTÃO ANAERÓBIA

Na biotecnologia anaeróbia, a massa de microrganismos responsáveis pelo fenômeno da digestão anaeróbia necessita de condições favoráveis, tanto nos aspectos ambientais e nutricionais, como na própria forma e características físicas do reator. Está associada a essas situações um parâmetro de grande importância, que é a relação entre o tempo de retenção de sólidos biológicos e o tempo de detenção hidráulico. Segundo Speece⁽⁶⁾, o tempo de retenção de sólidos biológicos é o parâmetro fundamental na definição do projeto de um sistema de biotecnologia anaeróbia. Um máximo tempo de detenção de sólidos biológicos é desejável para que exista o mínimo de produção de lodo e para que haja estabilidade do processo. O contrário é recomendado para o tempo de detenção hidráulico, que deve ser o mais baixo possível para tornar viável o custo de um reator anaeróbio. Essa tendência, entretanto, tomou lugar nessas duas últimas décadas, com o advento dos reatores anaeróbios não convencionais, o que tornou a relação entre o tempo de retenção de sólidos biológicos e tempo de detenção hidráulico maior que a unidade.

A classificação do tipo de reator está intimamente relacionada com a forma de agrupamento da biomassa ao reator. Como apresentado por Henze e Harremões⁽³⁾, a biomassa poderá estar ou não aderida a um meio físico, criando, assim, os sistemas de reatores com biomassa aderida e não aderida.

Os sistemas com biomassa aderida, constituem os métodos não convencionais, e entre os tipos de reatores desta classificação citam-se:

- a) Reator de leito fixo
- b) Reator de leito móvel
- c) Reator de leito expandido
- d) Reator de leito fluidizado

Para os sistemas de biomassa não aderida a literatura apresenta os tipos:

- a) Reator com recirculação de lodo
- b) Reator de manta de lodo
- c) Digestor de lodo (convencional)

O reator de leito fixo constituiu-se numa unidade em que o filme biológico está aderido a um meio inerte fixo. São exemplos deste tipo: o filtro anaeróbio de fluxo ascendente e descendente⁽¹⁾, e o filtro híbrido de leito de lodo de fluxo ascendente (UBF)⁽⁴⁾.

Nos reatores de leitos móveis são conhecidos os discos rotativos e o rotativo de contato biológico, nos quais os microrganismos ficam aderidos a um disco em movimento⁽³⁾.

Para o tipo de leito expandido, cita-se como exemplo o reator anaeróbio de leito expandido e filme aderido com fluxo ascendente (AAFEB)⁽³⁾. Neste tipo de reator, os microrganismos aderem a um meio inerte, criando biofilme que é expandido com o conjunto pela alta velocidade — que se impõe ao fluxo.

Quanto ao tipo fluidizado, existem os reatores anaeróbios de leito fluidizado com recirculação. O biofilme adere a um meio inerte (areia), o qual é fluidizado por alta velocidade do fluxo ascensional imposto ao sistema.

O reator com recirculação de lodo ou reator de contato é uma evolução do digestor de lodo, como relatado anteriormente.

No tipo de reator de manta de lodo, destacam-se os reatores de fluxo ascendente de manta de lodo, criados por Lettinga e colaboradores⁽⁵⁾. Neste tipo de reator os biofilmes formados ficam agregados, formando grânulos de até 5mm de diâmetro que se localizam na zona inferior do reator.

No digestor de lodo, que constitui o sistema convencional com mecanismo de mistura, a relação entre o tempo de detenção de sólidos biológicos e o tempo de detenção hidráulico é igual à unidade, como mencionado anteriormente.

Além dos tipos de reatores apresentados, recentemente foram divulgados os reatores de dois estágios e com chicanas (ABR)⁽⁶⁾. Na figura 2, apresentam-se os tipos de reatores citados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No estudo apresentado percebeu-se que embora a tecnologia da digestão anaeróbia não tenha seus princípios plenamente conhecidos, constitui-se em uma nova opção, principalmente quando se questiona o custo de operação e o volume de lodo produzido por outras tecnologias de tratamento de despejos.

Estudos minuciosos devem ser dispensados às alternativas que permitam melhores resultados no tratamento dos despejos diluídos ou solúveis.

No que se refere ao despejo doméstico, novos caminhos devem ser trilhados pela tecnologia anaeróbia, particularmente na busca de novas opções que proporcionem melhoria considerável da qualidade final do efluente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 — Daltro, J. F. *Desempenhos de filtros anaeróbios no tratamento de esgotos sanitários: Efeitos da altura do filtro e de Toxicidade por cobre*. Tese de Doutorado (Hidráulica/Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos — USP. Outubro de 1988.

2 — Gujer, W. and Zehnder, A. J. B. *Conversion Processes Anaerobic*

Digestion. Wat. Sci. Tech. Vol 15, Copenhagen, pp. 127-167. IAWPRC Pergamon Press Ltd., 1983.

3 — Henze, M. and Harremoes, P. *Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactors — A literature review*. Wat. Sci. Tech. Vol. 15. Copenhagen, pp. 1 — 101. Printed in Great Britain. 1983.

4 — Kennedy, K. J. and Guiot, S. R.. *Anaerobic Up flow bed-filtes — Development and Application*. In: Post — Conference International Seminar on Anaerobic Treatment in Tropical Countries. São Paulo, Brazil, August 25 to 29, 1986.

5 — Lettinga, G. and Hulshoff, L. P.. *Advanced Reactor Design Operation and Economy*. Wat. Sci. Tech. Vol. 18. Nº 12 pp. 99 — 108, 1986.

6 — Speece, R. E.. *Anaerobic Biotechnology for Industrial Waste water Treatment*. Environmental Science & Technology. Vol. 17, Nº 9, pp. 416A — 427A. American Chemical Society, 1983.

Correspondência

Prof. José Daltro Filho

Depto. de Engenharia Civil

Centro de Ciências Exatas e Tecnologia

Universidade Federal de Sergipe — Campus

49000 — Aracaju — SE

Figura 1
Esquema proposto para reação da digestão anaeróbia de lodo de esgoto doméstico.
Adaptado de Káspár e Wuhromann (1978)

Fonte: Suyer e Zenkmdr⁽²⁾

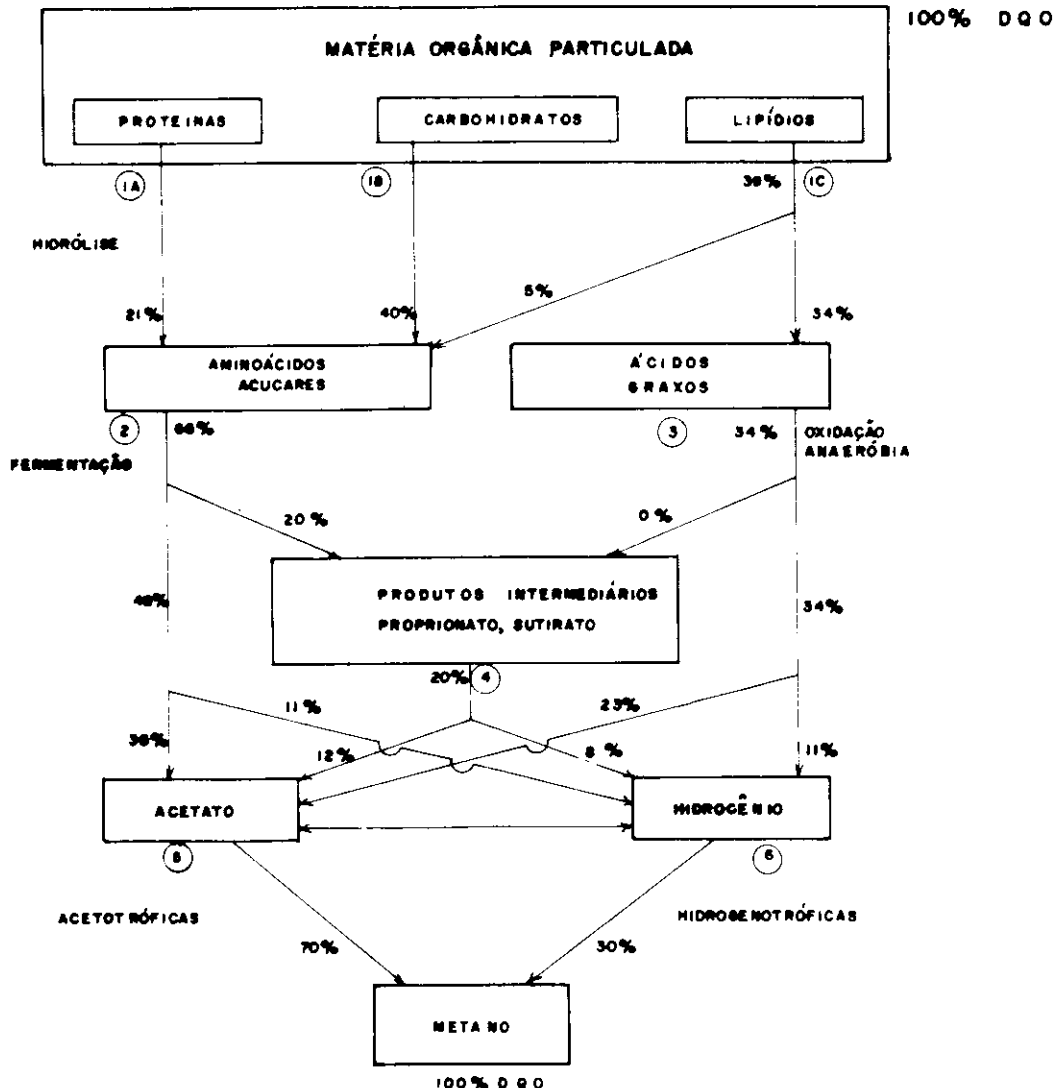
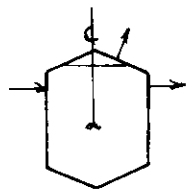
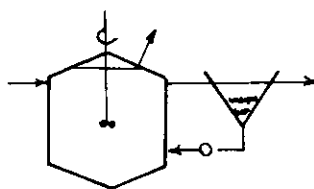


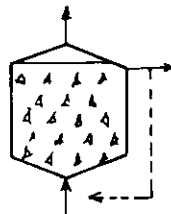
Figura 2
 Tipos de reatores anaeróbios
 Fontes: Speece⁽⁶⁾ e Henze e Harremões⁽³⁾



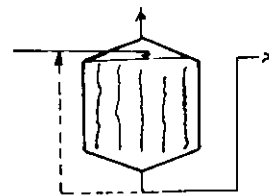
MISTURA COMPLETA



PROCESSO ANAERÓBIO DE CONTATO



FLUXO ASCENDENTE DE LEITO FIXO



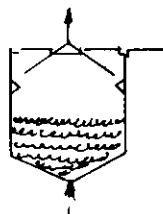
FLUXO DESCENDENTE DE LEITO FIXO



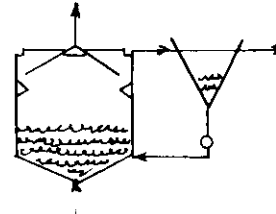
LEITO FLUIDIZADO



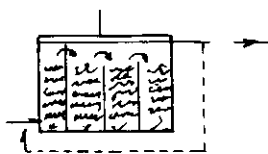
LEITO EXPANDIDO



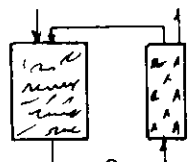
FLUXO ASCENDENTE EM MANTA DE LODO UASB



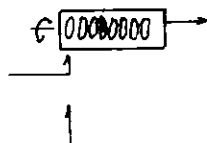
UASB COM DECANTADOR



REATOR COM CHICANAS



REATOR DE DOIS ESTÁGIOS



MEMBRANA PARA SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS

REATOR DE LEITO MOVEL