



Prof. Paulo Eduardo dos Santos Soldera

Unidade: Campus Santo Amaro

Curso: Engenharia Ambiental

Disciplina: Prevenção e Controle de Poluição Hídrica II

APOSTILA 1

CONTROLE DE POLUIÇÃO HÍDRICA II

1 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO SANITÁRIO

Definição: Esgoto sanitário é a água residuária composta de esgoto doméstico, despejo industrial admissível a tratamento conjunto com esgoto doméstico e água de infiltração (NBR 7229/93).

Os esgotos sanitários variam no espaço, em função de diversas variáveis desde o clima até hábitos culturais. Por outro lado, variam também ao longo do tempo, o que torna complexa sua caracterização. Metcalf & Eddy (1991) classificam os esgotos em forte, médio e fraco, conforme as características apresentadas na TABELA 01.

Característica	Forte	Médio	Fraco
DBO _{5,20} (mg/L)	400	220	110
DQO (mg/L)	1000	500	250
Carbono Org. Total	290	160	80
Nitrogênio total – NTK (mg/L)	85	40	20
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	35	15	8
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	50	25	12
Fósforo Total (mg/L)	15	8	4
Fósforo Orgânico (mg/L)	5	3	1
Fósforo Inorgânico (mg/L)	10	5	3
Cloreto (mg/L)	100	50	30
Sulfato (mg/L)	50	30	20
Óleos e Graxas (mg/L)	150	100	50

TABELA 01 - Características físico-químicas dos esgotos. Fonte: Metcalf & Eddy (1991)

A NBR 13969/97 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação – apresenta os valores de vazão e carga orgânica para os esgotos sanitários, em função do padrão dos habitantes. A TABELA 02 apresenta essa caracterização.

Característica	Padrão alto	Padrão Médio	Padrão Baixo
DBO _{5,20} (mg/L)	312,5	346,2	400
Vazão (L/dia)	160	130	100
Carga Orgânica g DBO/dia	50	45	40

TABELA 02 - Contribuição de Carga Orgânica - Ocupantes Permanentes – Tabela 3 - NBR 13969/1997 (adaptado)

No Brasil, mesmo que não se tenha informação segura com base local, costuma-se adotar contribuições “per capita” de 54 e 100 g/habitante.dia para a DBO de cinco dias e para a DQO, respectivamente.

Em termos de vazão, pode-se afirmar que os esgotos estão sujeitos às mesmas variações relativas ao consumo de água, variando de região para região, dependendo principalmente do poder aquisitivo da população. Apenas a título de referência, pode-se considerar a contribuição típica de 160 L/habitante.dia, referente ao consumo “per capita” de água de 200 L/habitante.dia e um coeficiente de retorno água/esgoto igual a 0,8. Para a determinação das vazões máximas de esgotos, costuma-se introduzir os coeficientes $k_1 = 1,2$ (relativo ao dia de maior produção) e $k_2 = 1,5$ (relativo à hora de maior produção de esgotos). Conseqüentemente, a vazão de esgotos do dia e hora de maior produção é 1,8 vezes, ou praticamente o dobro da vazão média diária.

Deve ser lembrado que as características dos esgotos são afetadas também pela infiltração de água subterrânea na rede coletora e pela possível presença de contribuições específicas, como indústrias com efluentes líquidos ligados à rede pública de coleta de esgotos.

Os esgotos sanitários possuem excesso de nitrogênio e fósforo. Isto faz com que, ao ser submetido a tratamento biológico, haverá incorporação desses macronutrientes nas células que tomam parte do sistema, mas o excesso deverá ser ainda grande. Esta é uma importante preocupação em termos de tratamento de esgotos, exigindo tratamento avançado quando se tem lançamento em situações mais restritivas, sobretudo em represas utilizadas para o abastecimento público de água potável, onde o problema da eutrofização poderá ter conseqüências drásticas.

Na TABELA 03 são apresentadas algumas características biológicas dos esgotos, importantes para referenciar as necessidades de desinfecção. Embora a legislação seja restrita aos índices de coliformes, aplicações dos esgotos como, por exemplo, na agricultura, podem exigir o controle de outros indicadores.

Característica	Valor Médio
Bactérias Totais (/100 mL)	$10^9 - 10^{10}$
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	$10^7 - 10^8$
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	$10^6 - 10^7$
Estreptococcus Fecais (NMP/100 mL)	$10^5 - 10^6$
Salmonella Typhosa (/100 mL)	$10^1 - 10^4$
Cistos de Protozoários (/100 mL)	$10^2 - 10^5$
Vírus (/100 mL)	$10^3 - 10^4$
Ovos de Helminthos (/100 mL)	$10^1 - 10^3$

TABELA 03 - Concentrações de organismos em esgotos. Fonte: Metcalf & Eddy (1991)

1.1 Serviços de coleta e tratamento de esgoto no Brasil

O tratamento de esgotos ainda é um grande desafio no Brasil. De acordo com pesquisa do IBGE, em 2002, apresentada no Plano Nacional de Recursos Hídricos, 47,8% dos municípios brasileiros não coletam nem tratam os esgotos. Entre os 52,2% dos municípios que têm o serviço de coleta, apenas 20,2% tratam o esgoto coletado e os restantes 32% apenas coletam. O esgoto coletado e não tratado é conduzido por tubulações para despejo in natura, transformando rios e mares em focos para disseminação de doenças, afetando a qualidade da água e o ecossistema ambiental.

Grandes Regiões	Proporção de municípios, por condição de esgotamento sanitário (%)		
	Sem coleta	Só coletam	Coletam e tratam
Brasil	47,8	32	20,2
Norte	92,9	3,5	3,6
Nordeste	57,1	29,6	13,3
Sudeste	7,1	59,8	33,1
Sul	61,1	17,2	21,7
Centro-Oeste	82,1	5,6	12,3

TABELA 04 - Proporção de municípios, por condição de esgotamento sanitário, segundo as Grandes Regiões - Fonte: IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000

2.PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

2.1 Classificação dos sistemas de tratamento

Dependendo das características dos efluentes e dejetos, da eficiência de remoção dos poluentes, pode-se classificar os diversos tipos de tratamento, conforme exposto a seguir:

Tratamento Preliminar

Este tipo de tratamento tem o objetivo de remover das águas residuárias os sólidos grosseiros em suspensão, com granulometria superior a 0,25mm.

Vários tipos de grades ou peneiras são disponíveis, estáticas ou dinâmicas, sendo rotativas ou vibratórias.

O tratamento preliminar deve, quando possível, remover os materiais sólidos facilmente sedimentáveis como areia, farelo e outros. Para isto também se empregam caixas de retenção de areia e para materiais insolúveis como óleos, gorduras e solventes, empregam-se caixas de separação de óleos e gorduras.

Tratamento Primário

São sistemas utilizados principalmente para a remoção dos sólidos em suspensão. Empregam-se equipamentos com tempos de retenção maiores do que nos empregados tratamento preliminar.

Os principais processos de tratamento primário são: decantação primária, flotação, filtração, precipitação química com baixa eficiência, neutralização, etc. Remoção dos sólidos em suspensão que ou flutue, empregando-se equipamento com tempo de retenção maior do que no tratamento preliminar.

Tratamento Secundário

Os efluentes, após os tratamentos preliminar e primário, ainda contêm sólidos dissolvidos, como a matéria orgânica (carboidratos, proteínas e lipídeos) e também sólidos suspensos finos.

Os processos mais econômicos para a remoção desses componentes, são os biológicos, nos quais os microrganismos transformam a matéria orgânica em CO_2 , CH_4 , novos microrganismos e outros compostos.

Os tratamentos biológicos podem ser classificados em: aeróbios, quando se utiliza microrganismos que necessitam continuamente de oxigênio dissolvido, anaeróbios, quando se utiliza microrganismos que crescem na ausência de oxigênio e facultativos, quando se utiliza microrganismos que podem atuar nas duas condições.

Estes tipos de tratamento oferecem uma excelente remoção da matéria orgânica, assim como redução dos microrganismos patogênicos.

Processos anaeróbios

Estes processos são largamente empregados no tratamento de efluentes orgânicos sanitários e industriais, sendo que os principais sistemas utilizados são:

biodigestores de lodo, lagoas anaeróbias, fossa séptica e reatores de alta carga orgânica como filtros anaeróbios, reatores de fluxo ascendente com leito lodo; etc.

Processos aeróbios

São processos também empregados no tratamento de efluentes orgânicos sanitários e industriais, fazendo uso de microrganismos aeróbios, o que torna necessário o fornecimento constante de oxigênio dissolvido no líquido. A maioria destes sistemas necessita, para o fornecimento do oxigênio dissolvido, de algum mecanismo eletromecânico como aeradores de fundo, de superfície, ou biodisco, ou ainda a circulação do líquido a ser tratado num meio filtrante, no caso dos filtros biológicos.

Os principais sistemas utilizados são: lagoas de estabilização, lagoas aeradas mecanicamente, filtros biológicos, sistemas de lodos ativados nas diversas variantes; biodisco, etc.

Tratamento Terciário ou Avançado

Os processos de tratamento terciário são utilizados na seqüência, para obter um tratamento de qualidade superior, com a remoção praticamente total da matéria orgânica, assim como a remoção do nitrogênio e fósforo.

Emprega-se este tipo de tratamento, quando o esgoto deve ser lançado em rios e represas, que necessitam de um alto grau de tratamento, impedir a eutrofização das águas, ou ainda, quando se deseja o reuso da água, principalmente nas indústrias.

Existem vários sistemas que permitem chegar a este nível de tratamento, como filtro biológico, biodisco, lagoas de polimento, fitodepuração, carvão ativado, osmose inversa, etc.

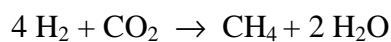
A cloração, empregada para a destruição dos microrganismos patogênicos, somente deverá ser efetuado no esgoto, após ao tratamento secundário ou terciário, caso contrário o cloro não será eficiente.

3 TRATAMENTO ANERÓBIO - HISTÓRICO

Em 1776 Alessandro Volta, físico Italiano, descobriu o “ar combustível”, formado em sedimentos no fundo de lagos e rios. Oitenta anos mais tarde Reiset detectou a formação de metano em estrumeiras e propôs o estudo desse tipo de manejo de resíduos para explicar o processo de decomposição anaeróbia.

Bechamp, em 1868, concluiu que o gás metano é formado por microrganismos. Sendo que em 1875, Popoff, investigou a formação de metano a partir de vários substratos.

Em 1890, Van Senus verificou que a decomposição anaeróbia era feita por vários microrganismos e Omelianski isolou organismos que produziam hidrogênio, ácido acético e butírico, a partir da celulose. Deduziu também que o metano seria produzido a partir da redução do gás carbônico por hidrogênio.



Em 1910, Sohngen verificou que a fermentação de materiais orgânicos produzem compostos reduzidos como hidrogênio, ácido acético e gás carbônico. Demonstrou também que ocorre a redução de CO_2 para a formação de metano e assumiu que o ácido acético é descarbonizado para fermentação de metano. Essa hipótese, hoje considerada correta, permaneceu em controvérsia por várias décadas.

Em 1914, Thum e Reichle concluíram que o processo se dava em duas fases: ácida e metânica. Em 1916, Imhoff, denominou de digestão ácida e digestão metânica as fases do processo.

Em 1940, Barker isolou a *Methano Bacterium Omelianski* que oxida etanol, a acetato, a metano. Em 1948, Buswell e Sollo, utilizando ^{14}C provaram que o metano vindo do acetato não ocorre através de redução de CO_2 .

Em 1956 Jerris verificou que 70% do metano produzido vinha do acetato. Em 1967 Briant publicou que existem 2 espécies de bactérias que convertem a metano. Uma pela via do acetato e outra pelo hidrogênio

4 A MICROBIOLOGIA DA DIGESTÃO ANAERÓBIA

De uma forma simplificada, o processo anaeróbio ocorre em quatro etapas. Na primeira etapa, a matéria orgânica complexa é transformada em compostos mais simples como ácidos graxos, amino ácidos e açúcares, pela ação dos microrganismos hidrolíticos.

Na segunda etapa as bactérias acidogênicas transformam os ácidos e açúcares em compostos mais simples como ácidos graxos de cadeia curta, ácido acético, H_2 e CO_2 .

Na terceira etapa, estes produtos são transformados principalmente em ácido acético, H_2 e CO_2 , pela ação das bactérias acetogênicas.

Por fim, na última etapa, os microrganismos metanogênicos transformam esses substratos em CH_4 e CO_2 .

Bactérias hidrolíticas fermentativas

O primeiro passo na digestão anaeróbia é a hidrólise dos polímeros de cadeia longa que é feita pelas bactérias hidrolíticas. Os principais compostos a serem hidrolisados são a celulose, as proteínas e os lipídios.

A celulose é um polímero de cadeia longa, facilmente degradado por bactérias aeróbias, mas nos processos anaeróbios as bactérias aeróbias não sobrevivem, sendo então a hidrólise mais dificultada. Um bom número de protozoários também contribuem para a fermentação da celulose. As bactérias celulósicas, podem entrar no esgoto através da fezes humana e principalmente de animais como o cavalo, o boi e o porco.

O pH ótimo para a sobrevivência destas bactérias é de cerca de 6 e a temperatura ótima é 45°C.

A fase de hidrólise compreende também a Lignina, que compreende de 20% a 30% da biomassa. É geralmente resistente à degradação anaeróbia, deve estar numa temperatura e pH altos e é parcialmente solubilizada e transformada em pequenas compostos que são facilmente digeridos para metano e CO_2 .

Pectina é um grupo complexo de polissacarídeos. Os lipídios consistem de glicerina de cadeia - longa de ácidos carbônicos. As proteínas são cerca de 50% do total da biomassa.

Percebe-se que a hidrólise é um passo limitante para a conversão de matéria orgânica em metano. Os produtos das reações hidrolíticas são fermentados e depois transformados em metanos. A tabela 1 mostra o produto da fermentação das principais bactérias hidrolíticas.

Organismos	Origem	Substrato	Produtos
Bacteroides Succinogenes	Rumem	Celulose	F, A, S
Bacteroides Fibrisolven̄s	Rumem	Celulose	F, L, H ₂ , CO ₂
Bacteroides Ruminicola	Rumem	Hemicelulose	F, B, L, H ₂ , CO ₂
Ruminococcus flavefaciens	Rumem	Celulose	F, A, B, L, M, H ₂ , CO ₂
Neocallimastix Frontalis	Rumem	Celulose	F, A, L, S, M
Rumem Spirochetes	Rumem	Pectina	F, A, S, M
Lachnospira Multiparus	Rumem	Pectina	F, A, L, M, E, H ₂ , CO ₂
Acetivibrio Cellulolyticus	Digester	Celulose	A, E, H ₂ , CO ₂
Clostridium Thermocellum	Digester	Celulose	A, E, H ₂ , CO ₂
Clostridium Papyrosolvens	Sedimento	Celulose	F, A, L, E
Clostridium Butyricum	Sedimento	Pectina	A, B, M, E, H ₂ , CO ₂

TABELA 05 - bactérias envolvidas na fase hidrolítica da digestão anaeróbia

Fonte: Chynoweth, D. P. e Isaacson R.(1987)

Legenda: F = Formol, A = Acetato, P = Propionato, B= butirato, S = Succinato, L = lactado, M = metanol, E = Etanol, IP = Isopropanol.

Bactérias transicionais

A bactéria transicional transforma a matéria orgânica solúvel produzida pela bactéria hidrolítica em substrato para metanogênese. Acetato no efluente pode ser metabolizado diretamente pela bactéria metanogênica, independente de iterações catabólicas com outras bactérias. Alguns substratos são hidrolisados para amino - ácidos que podem ser usados com carbono servindo de energia para reações fermentativas.

A bactéria fermentativa na digestão anaeróbia converte material orgânico solúvel para ácido acético, ácido propiônico, ácido butírico, H₂ e CO₂. Alguns produtos das bactérias fermentativas como acetato e H₂, podem ser metabolizados diretamente pela bactéria metanogênica, mas outros como ácidos propiônicos e ácidos butírico não podem ser digeridos diretamente.

Segundo Chynoweth & Isaacson (1987), uma porção do acetato é sintetizado para H_2 e CO_2 na digestão e uma pequena parte para ácido propiônico, ácido acético e ácido butírico. Outros estudos indicam que culturas mistas produzem ácidos voláteis do H_2 e CO_2 ou do metanol.

Bactérias acidogênicas

Os açúcares e aminoácidos são absorvidos pelos organismos acidogênicos e fermentados intracelularmente a ácidos graxos de cadeias mais curtas, como ácido propiônico, butírico, além de CO_2 , H_2 e acetato. As vias bioquímicas pelos quais o substrato é fermentado, e a natureza do produto (tipo de ácido volátil produzido) dependerão, principalmente, do tipo de substrato e da pressão parcial de hidrogênio.

As bactérias acetogênicas

As bactérias acetogênicas desempenham um importante papel entre a acidogênese e a metanogênese. Bactérias acetogênicas, produtoras de hidrogênio são capazes de converter ácidos graxos com mais de 2 carbonos a ácidos acéticos, CO_2 , H_2 que são os substratos para as bactérias metanogênicas.

Bactérias metanogênicas:

As bactérias metanogênicas são o final do processo de decomposição anaeróbia da biomassa. Metano é o produto final da mineralização da digestão anaeróbia. Como contraste a bactéria aeróbia metaboliza através da oxidação dos polímeros para CO_2 e H_2O .

As bactérias metanogênicas podem utilizar ácido fórmico e acético, além de metanol, metilamina, H_2 e CO_2 para a produção de metano. Cerca de 70 % do metano produzido pelas bactérias metanogênicas provém do acetato.

As reações bioquímicas desse grupo de bactérias contribuem para a redução da pressão parcial de hidrogênio, viabilizando as etapas anteriores do processo de degradação anaeróbia.

A formação de metano como produto final do processo depende da existência de populações com funções distintas, e em proporções tais que permitam a manutenção do fluxo de substratos e energia sob controle.

Espécies	Substratos
Methanobacterium formicicum DSM 863	H ₂ - CO ₂
Methanobacterium thermoautotrophicum	H ₂ - CO ₂
Methanobacterium bryantii M. O. H.	H ₂ - CO ₂
Methanobacterium wolfei DSM2970	H ₂ - CO ₂
Methanobacterium uliginosum P2St	H ₂ - CO ₂
Methanobacterium alcaliphilum WeN4	H ₂ - CO ₂
Methanobrevbacter ruminantium M1	H ₂ - CO ₂
Methanobrevbacter smithii PS	H ₂ - CO ₂
Methanobrevbacter arboriphilicus DH1	H ₂ - CO ₂
Methanothermus fervidus DSM 2088	H ₂ - CO ₂
Methanococcus vannielii DSM 1224	H ₂ - CO ₂
Methanococcus Methanobacterium voltae PS	H ₂ - CO ₂
Methanococcus thermolithotrophicus DSM 2095	H ₂ - CO ₂
Methanococcus maripaludis JJ	H ₂ - CO ₂
Methanococcus jannaschii JAL-1	H ₂ - CO ₂
Methanococcus halophilus INMIZ - 7982	Methanol
Methanospirillum hungatei JF1	H ₂ - CO ₂
Methanomicrobium mobile BP	H ₂ - CO ₂
Methanomicrobium paynteri G - 2000	H ₂ - CO ₂
Methanogenium cariaci JR1	H ₂ - CO ₂
Methanogenium marisnigri JR1	H ₂ - CO ₂
Methanogenium thermophilicum CR1	H ₂ - CO ₂
Methanogenium aggregans MSt	H ₂ - CO ₂
Methanogenium bourgense MS2	H ₂ - CO ₂
Methanosarcina barkeri MS	H ₂ - CO ₂ , methanol e acetato
Methanosarcina mazei S-6	Methanol e acetato
Methanosarcina acetivorans C2A	H ₂ - CO ₂ , methanol e acetato
Methanosarcina thermophila TM-1	Methanol e acetato
Methanoplanus limicola DSM 2279	H ₂ - CO ₂
Methanococcoides methylutens TMA – 10	Methanol
Methanlobus tindarius Tindari 3	Methanol
Methanotherx soehngenii Opfikon	Acetato
Methanotherx concilii GP6	Acetato
Methanosphaera stadmanae MCB-3	Methanol plus H ₂

TABELA 06 - Bactérias metanogênicas e seus respectivos substratos.

Fonte: Chynoweth, D. P. e Isaacson R.(1987)

TRATAMENTO ANAERÓBIO

• Sequências Metabólicas e grupos microbianos (digestão anaeróbia)

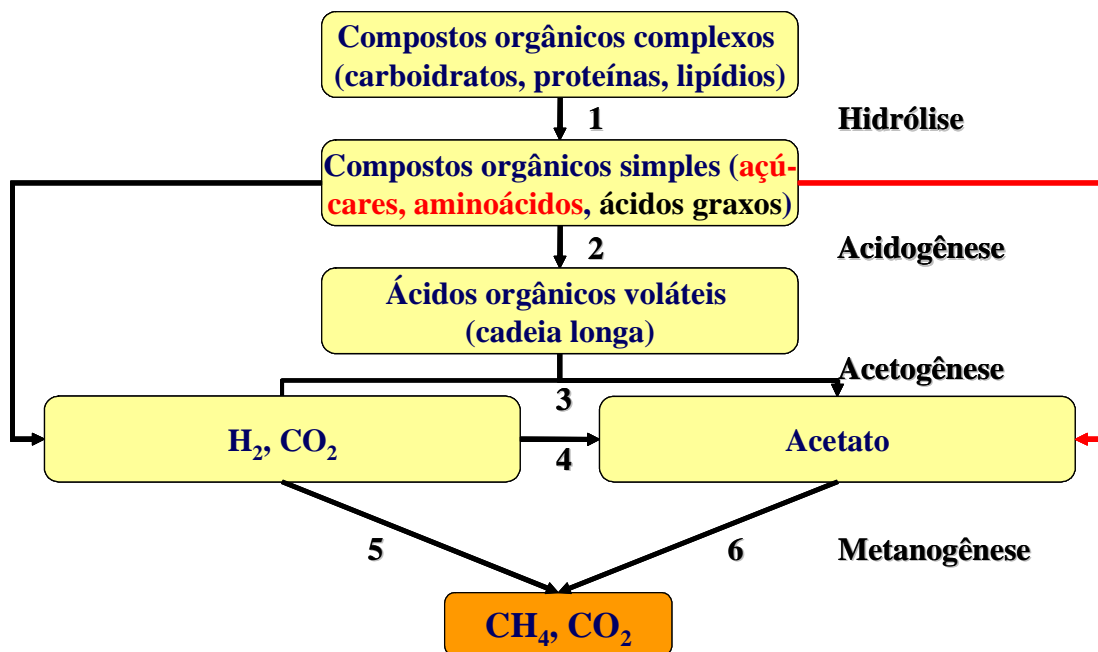


FIGURA 01 – Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia (Chernicharo, 1995; Lubberding, 1995)

LEGENDA

Reação	Microrganismos
1 e 2	Bactérias hidrolíticas fermentativas
3	Bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio
4	Bactérias acetogênicas consumidoras de hidrogênio
5	Bactérias metanogênicas utilizadoras de hidrogênio
6	Bactérias metanogênicas acetoclásticas

Na TABELA 08 apresentam-se algumas relações redox importantes no processo de digestão anaeróbia.

Oxidações (doadoras elétrons)	Reações	ΔG_0 , kJ
Propionato → acetato	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- + \text{H}_2$	+ 76,1
Butirato → acetato	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2 \text{H}_2$	+ 48,1
Etanol → acetato	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2 \text{H}_2$	+ 9,6
Lactato → acetato	$\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	- 4,2
Acetato → metano	$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{CH}_4$	- 31
Reduções (recebe elétrons)		
HCO_3^- → acetato	$2 \text{HCO}_3^- + 4 \text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 4 \text{H}_2\text{O}$	- 104,6
HCO_3^- → metano	$\text{HCO}_3^- + 4 \text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + 3 \text{H}_2\text{O}$	-135,6
Sulfato → sulfeto	$\text{SO}_4^{2-} + 4 \text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{HS}^- + 4 \text{H}_2\text{O}$	-151,9
Sulfato → sulfeto	$\text{SO}_4^{2-} + \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow 2 \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{S}$	-59,9
Nitrato → amônia	$\text{NO}_3^- + 4 \text{H}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+ + 3 \text{H}_2\text{O}$	-559,9
Nitrato → amônia	$\text{NO}_3^- + 4 \text{H}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+ + 3 \text{H}_2\text{O}$	-511,4
Nitrato → nitrogênio	$2 \text{NO}_3^- + 5 \text{H}_2 + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$	-1120,5

TABELA 08 - Reações importantes nos processos anaeróbios

A TABELA 08 mostra claramente que, em sua maioria, as reações bioquímicas acetogênicas são termodinamicamente desfavoráveis ($\Delta G_0 > 0$) nas condições padrão. Isto é, caso as espécies químicas indicadas à direita estejam presentes nas concentrações indicadas pela reação, ela se dá no sentido de formar as espécies químicas à esquerda.

Como a metanogênese depende da disponibilidade de acetato, é importante que o equilíbrio das reações acetogênicas seja deslocado para a direita, o que é conseguido com a remoção contínua de H_2 , através das reações receptoras de elétrons.

7 A DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia é um processo fermentativo que tem como finalidade a remoção de matéria orgânica, a formação de biogás e a produção de biofertilizantes mais ricos em nutrientes, portanto é uma alternativa atraente para alguns casos de

esgoto industrial e esgoto sanitário. Uma das dificuldades encontradas inicialmente era o desconhecimento dos fatores que influenciavam a digestão anaeróbia.

A dificuldade atual a ser superada na aplicação da digestão anaeróbia para à estabilização de águas residuárias, é alcançar a alta retenção da biomassa ativa no reator anaeróbio, usando-se meios simples e baratos.

Como um método de tratamento de águas residuárias, a digestão anaeróbia oferece um número de vantagens significantes sobre os sistemas de tratamento aeróbios convencionais disponíveis atualmente.

Vantagens:

- Baixa produção de lodo biológico;
- Dispensa energia para aeração;
- Há produção de metano;
- Há pequena necessidade de nutrientes;
- O lodo pode ser preservado ativo durante meses sem alimentação;
- O processo pode trabalhar com altas e baixas taxas orgânicas.

Desvantagens:

- Nem sempre atende a legislação;
- A partida dos reatores pode ser lenta devido as bactérias metanogênicas;
- Falta de tradição em sua aplicação.

7.1 Os fatores que influenciam a digestão anaeróbia

Segundo Souza (1983), os principais fatores que prejudicam a digestão anaeróbia são o desequilíbrio entre os microrganismos, o aumento repentino da carga orgânica, o grau de contato entre as bactérias e o esgoto, a mudança de temperatura e a influência de compostos tóxicos.

pH e alcalinidade

O pH e alcalinidade de bicarbonato são fatores relacionados. Segundo Foresti (1993), o pH ótimo para a digestão anaeróbia é de 6,8 – 7,5, mas o processo ainda continua bem sucedido num limite de 6,0 – 8,0, embora numa taxa mais baixa. O principal fator de tamponamento num digestor é o sistema gás-carbonico/bicarbonato. Uma quantidade adequada de alcalinidade de bicarbonato deveria sempre estar disponível para prevenir uma queda de pH abaixo de 6.0 devido à rápida formação de ácidos voláteis do material orgânico complexo e devido à metanogênese retardada (como por exemplo o resultado de uma queda de temperatura).

Os ácidos voláteis não dissociados, que penetram na membrana celular mais facilmente, são a forma tóxica, porque uma vez dentro da célula, diminuirão o pH como um resultado de sua dissociação.

Resultados publicados (Letinga,1980), indicam que certos metanogêneses, particularmente aqueles degradantes de ácido acético, podem adaptar-se de um certo modo a valores de pH mais baixos.

Deveria ser reconhecido que na digestão de ácidos voláteis neutralizados uma quantidade de substâncias de alcalinidade de bicarbonato é sempre produzida, ao passo que na produção de ácidos o inverso é verdadeiro. Por exemplo, em culturas de fermento do metanol, baixos valores de pH podem ser tolerados desde que o metanol seja degradado diretamente e não via formação intermediária de ácidos.

Ao examinar o efeito do pH na estabilidade dos processos de tratamento anaeróbio deveria ser enfatizado que as restrições mencionadas acima aplicam-se apenas ao pH do líquido misturado no digestor, e não ao pH do afluente. Resultados obtidos com água residuária, mostram que valores de pH baixos no afluente podem ser tolerados.. Obviamente o processo deveria ser estritamente controlado em se tratando de resíduos ácidos, em particular medidas de pH devem ser feitas na parte inferior do reator, perto da entrada alimentadora. Para prevenir riscos de transtornos no pH é benéfico aplicar com frequência recirculação efluente.

Os principais indicadores de distúrbios nos processos anaeróbios são o aumento na concentração de ácidos voláteis, aumento da porcentagem de CO₂ no biogás, diminuição do pH, diminuição na produção total de gás e diminuição na eficiência do processo.

A importância da alcalinidade é manter o sistema sempre em equilíbrio, para que não varie o pH mesmo com a produção de H⁺. A alcalinidade total de um sistema é a soma das alcalinidades devida ao bicarbonato (AB) e aos próprios ácidos voláteis (AV): $AT = AB + 0,85 \times 0,833 \times AV$ onde 0,85 é a porcentagem de ácidos voláteis que são detectados, e 0,833 é o fator de transformação de CH₃COOH para CaCO₃. O nitrogênio amoniacal, em concentrações elevadas, contribui para a formação de alcalinidade, então ajuda também na estabilização do processo. Para o ajuste do pH é necessário que se adicione cal até se atingir o pH entre 6,8 e 7,0 (Souza, M.E.,1980).

Segundo Foresti (1993), o pH varia menos quando ocorre mudanças na alcalinidade a altas concentrações de CaCO₃.

Tempo de detenção celular

Nos processos anaeróbios a eficiência do contato entre as bactérias e a matéria orgânica esta no material de enchimento e no seu índice de vazios que serve de suporte para as bactérias sem permitir seu acarreamento.

Temperatura

Outro fator preocupante é o da temperatura, as bactérias metanogênicas são bastante sensíveis a variações, especialmente a elevações de temperatura. O processo pode ocorrer nas faixas mesofílica (15°C a 45°C) ou termofílica (50°C a 65°C). Na verdade as temperaturas ótimas são de 35°C a 37°C para mesofílicas e 57°C a 62°C para as termofílicas.

Trabalhar em temperatura ótima parece ser vantajoso quando se tem compostos tóxicos, pois segundo Souza, M. E.(1984) " ensaios realizados em escala piloto, com lodo de esgoto contendo elevadas concentrações de compostos tóxicos, parecem indicar que a digestão anaeróbia resiste mais a cargas de choque de compostos tóxicos, quando a temperatura está mais próxima da temperatura ótima".

Temperatura: Três limites de temperatura podem ser distinguidos no tratamento anaeróbio:

- termofílica, 50 - 65°C, e às vezes até mais alta,
- mesofílica, 20 -40°C,
- psicofílica 0 - 20°C.

Será evidente que os limites exatos de temperatura não podem ser fornecidos, e existem informações pouco relevantes para os limites termofílicos e psicofílicos. De longe obteve-se o mais completo corpo de dados para digestão sob condições mesofílicas, mas há algum potencial para processos sob condições psicofílicas, particularmente para dissolver formas de resíduos.

Em vista da baixa taxa de hidrólise em temperaturas abaixo de 15 - 20°C, este potencial não parecia aplicar-se à matéria orgânica complexa (não dissolvida). Digestão termofílica poderia comprovar ser uma opção interessante para uma digestão mais rápida da matéria orgânica complexa, mas ainda assim há pouca experiência prática nesta faixa de temperatura. Os resultados obtidos em novas pesquisas, indicam que o aumento de ácido propiônico representa um fator limitante na iniciação dos processos de digestão termofílica. Além do mais o processo parece estar mais propenso a não dar certo sob condições termofílicas comparada com condições mesofílicas (Souza,1984).

Com respeito à dependência da temperatura de culturas mesofílicas, dados existentes indicam que mesmo em temperaturas tão baixas quanto 10 - 15°C ocorre uma considerável atividade metanogênica . Entretanto, em vista da acentuada queda da taxa de organismos mesofílicos em temperaturas acima de 42°C, deveriam ser evitados choques de temperatura acima de 42°C, particularmente se eles durarem mais do que um dia. Apesar das taxas lentas de hidrólise em temperaturas mais baixas, o potencial do tratamento anaeróbico, mesmo para esgotos mais complexos, não deveria ser subestimado porque existe uma certa adaptação de bactérias às condições psicofílicas que pode ocorrer depois de um tempo.(Lettinga,1980)

Deveria ser lembrado que processos de lodos ativados de taxa baixa possuem carregamento orgânico menor que 0.5 Kg DQO.m⁻³.dia⁻¹. Resultados (Lettinga,1980) de experimentos UASB em planta piloto com águas residuárias ao natural mostraram que pode-se alcançar remoções de DQO eficazes (60 - 80%) com taxas de carregamento orgânico de até 1.5 Kg DQO.m⁻³.dia⁻¹ em temperaturas tão baixas quanto 7 - 10°C.

Os sistemas de tratamento anaeróbico podem tolerar flutuações acentuadas na temperatura num raio de 10 - 42°C, desde que essas flutuações não iniciem condições adversas. Ambos os processos de digestão termofílica e psicofílica combinam um número de vantagens e desvantagens sobre os processos de digestão mesofílica.

7.2 A toxicidade nos processos anaeróbios:

Segundo Foresti, E. (1993) "durante décadas difundiu-se o conceito errôneo de que os processos anaeróbios seriam extremamente sensíveis a cargas tóxicas que provocariam a 'morte' da biota, e, conseqüentemente, o colapso dos reatores, na seguinte seqüência de eventos: exposição das metano-bactérias a agentes tóxicos, acúmulo gradativo de ácidos voláteis e abaixamento do pH".

Os compostos tóxicos podem ter diferentes efeitos sobre as bactérias, podem ser bactericida quando as bactérias não se adaptam a determinadas concentrações do tóxico e bacterostático quando se adaptam a determinadas concentrações de tóxico.

Além da aclimação, outra maneira de combater os compostos tóxicos é o antagonismo, onde produtos tóxicos são anulados na presença de outros. Como exemplo o Sódio e Potássio que se anulam, diminuindo o efeito tóxico dos dois. Precipitação através do sulfeto é a maneira de combater os metais pesados.

As metanos-bactérias apresentam taxas de crescimento baixo e utilizam apenas uma pequena fração da DQO para a síntese celular. Portanto, caso o tóxico seja realmente bactericida, o período de reajuste pode ser demorado.

Segundo Foresti,E.(1993), "Recentes estudos em laboratório mostram que o efeito da grande maioria dos tóxicos sobre as metanos-bactérias é bacterostáticos nas concentrações em que ocorrem normalmente".

A população anaeróbia tem grande capacidade de adaptação a cargas tóxicas, mas é necessário um tempo de adaptação para que seu funcionamento seja normal.. Em populações não adaptadas, as características tem seguido o mesmo padrão:

- a. decréscimo da produção de metano;
- b. recuperação do reator que volta rapidamente a exibir o mesmo desempenho da fase anterior à exposição de tóxicos;
- c. o tempo em que o reator perde capacidade é proporcional à concentração de tóxicos adicionados.

É importante salientar que populações adaptadas podem ser submetidas a concentrações tóxicas muito maiores que as não adaptadas.