

Eixo: Gestão Ambiental

Aula 3. Reator Uasb e Lodos ativados

SEAMA - IEMA - AGERH - IDAF - BPMA

Lei Estadual nº 4.126/1988



GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO
Secretaria de Gestão
e Recursos Humanos
Secretaria do Meio Ambiente
e Recursos Hídricos

2024

Conteúdo do treinamento

Apoio



Reator UASB

Conceito;

Tipos de reatores;

Aplicabilidade a esgotos domésticos;

Reatores UASB, ou DAFA, ou RAFA.



<https://www.guiadaengenharia.com/>

MÓDULO IV – 4.1 Reator UASB

A evolução recente do tratamento anaeróbico conduziu a que os esgotos, e não apenas o lodo, passam a ser tratados em unidades dimensionadas para tal fim, condições tais que a biomassa formada no interior dessas unidades aí permaneçam por um elevado tempo de residência.

A biotecnologia anaeróbia é recente, e o conhecimento da cinética e das aplicações de modelagem matemática é **ainda limitado**.



MÓDULO IV – 4.1 Reator UASB

Três fatores fundamentais podem ser considerados para a utilização de reatores anaeróbios de alta taxa tratando esgotos:

- 1 ➔ Grande acumulação da biomassa no interior do reator, devido à sedimentação, agregação a sólidos, ou recirculação. Esses sistemas fazem com que o tempo de residência dos microrganismos seja muito maior que o tempo de detenção hidráulico, inclusive dos organismos de mais lento crescimento;
- 2 ➔ Melhor contato entre biomassa e despejo; e
- 3 ➔ Melhor atividade da biomassa.

MÓDULO IV – 4.2 Tipos de reatores

Basicamente **são duas** as formas para retenção do lodo nas unidades de tratamento:

Sistemas em que o lodo se acha aderido a um material inerte de suporte: O mais conhecido é o “**Filtro anaeróbico**”, preenchido com material **inerte**, de maneira arrumada ou randômica, onde os organismos formam o biofilme. Os filmes anaeróbios são normalmente de fluxo ascendente, podendo ser também descentes; e



MÓDULO IV – 4.2 - Tipos de reatores

- Basicamente **são duas** as formas para retenção do lodo nas unidades de tratamento:
- Sistemas em que o lodo se acha suspenso, agregado na forma de floco ou grânulo. Neste caso tem-se o chamado “Reator de Manta de Lodo” (na literatura inglesa “UASB, Upflow Anaerobic Sludge Blanker”, termo já adotado no Brasil).
 - As bactérias formam flocos ou grânulo que podem ter muito boa sedimentabilidade e formam um colchão ou manta de lodo no interior do reator.
 - Este por sua vez, requer dispositivos bem dimensionados, e projetados para se obter uma separação eficiente de gases, sólidos, e líquidos. São também conhecidos como “RAFA, Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente”, ou “DAFA, Digestor Anaeróbico de Fluxo Ascendente”.
 - No Paraná, estado onde esta modalidade de tratamento é muito difundida, é comum a terminologia “RALF, Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado”.

MÓDULO IV – 4.3 Aplicabilidade a esgotos domésticos



- Processos anaeróbios para tratamento de esgoto é antigo!
- Alemanha aplicado no século XIX, Estados Unidos no século XX.
- As fossas ou tanques sépticos constituem hoje o tipo mais usados de tratamento anaeróbio para esgotos, sendo normalmente de aplicação domiciliar. O tratamento complementar do efluente das fossas tem sido realizado com boa eficiência nos filtros anaeróbios, com enchimento de brita, material plástico, ou outras modalidades de meio suporte inerte.

MÓDULO IV – 4.3 Aplicabilidade a esgotos domésticos



- Outra modalidade de tratamento anaeróbico para esgotos é a lagoa de estabilização anaeróbica, largamente difundida para comunidades pequenas e médias.
- No final dos anos 70 surgiu na Holanda um modelo de reator anaeróbico, caracterizando-se por possuir a entrada do esgoto pelo fundo, em fluxo ascendente, e por dispor de um sistema de separação das fases líquida, sólida e gasosa, na parte superior, com o lodo suspenso e formando flocos e grânulos.
- Desenvolvido pelo Prof. Gatzke Lettinga e sua equipe, na Universidade de Wageningen, recebeu o nome de “Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor, UASB” – terminologia recentemente adotada pelos especialistas brasileiros.

MÓDULO IV – 4.3 Aplicabilidade a esgotos domésticos



- No início a tecnologia era aplicada exclusivamente a esgotos com alta concentração de DQO ou DBO, como é o caso de despejos industriais específicos.
- Para esgoto doméstico com baixa concentração de matéria orgânica só vieram a ter este processo aplicado com êxito a partir da metade dos anos 90.
- No estado do Paraná a empresa concessionária SANEPAR adotou integralmente o processo como padrão para suas estações de tratamento, devendo-se fazer jus ao entusiasmo e pioneirismo do Eng. Censo Savelli Gomes.

MÓDULO IV – 4.3 Aplicabilidade a esgotos domésticos



A **eficiência** do tratamento anaeróbico de esgotos domésticos é no entanto comprovadamente limitada: a experiência tem indicado remoções de DQO na faixa de 40 a 75% e de **DBO na faixa de 45 a 85%**, esta variação, sendo principalmente função do tempo de detenção hidráulica.



<https://www.guiadaengenharia.com/reactores-uasb/>

MÓDULO IV – 4.4 Distribuição do esgoto afluyente

- Vídeo 1

A coleta do efluente tratado se dá ao longo de calhas vertedores ou por meio de tubos perfurados na superfície do líquido.

MÓDULO IV – 4.5 Reatores UASB, ou DAFA, ou RAFA

- Este têm constituído o tipo mais utilizado, caracterizando-se por conter as seguintes principais: Mas antes vamos ver dois vídeos....
- **Câmara de digestão:** inferior, onde se localiza o leito de lodo (manta de lodo), e onde se processa a digestão anaeróbia. O esgoto ao penetrar no interior do UASB, entra por esta zona de lodo, atravessando-a no sentido ascendente. Nessa trajetória, parte da matéria orgânica permanece na zona de lodo, iniciando o processo de digestor anaeróbio;
- **Separador de fases:** dispositivo que fisicamente caracteriza uma zona de sedimentação, e uma câmara de coleta de gases, separando as fases sólida (da câmara de digestão), da líquida e gasosa; é na verdade um defletor de gases;

MÓDULO IV – 4.5 Reatores UASB, ou DAFA, ou RAFA

Este têm constituído o tipo mais utilizado, caracterizando-se por conter as seguintes principais: Mas antes vamos ver dois vídeos....

Zona de transição: entre a câmara de digestão e a zona de sedimentação superior;

Zona de sedimentação: o esgoto penetrando pela abertura da parte inferior, alcança os vertedores de superfície, com uma velocidade ascensional adequada para a sedimentação dos sólidos e flocos, os quais retomam pela abertura das paredes para a zona de transição e de digestão. A parte líquida é recolhida com características de efluente clarificado; e

MÓDULO IV – 4.5 Reatores UASB, ou DAFA, ou RAFA

Este têm constituído o tipo mais utilizado, caracterizando-se por conter as seguintes principais: Mas antes vamos ver dois vídeos....

Zona de acumulação de gás: o gás produzido na fase de digestão é retido em uma zona superior de acumulação, onde é coletado e eventualmente aproveitado.

MÓDULO IV – 4.5 Reatores UASB, ou DAFA, ou RAFA

A biomassa, sob forma suspensa ou biofilme, deve manter um contato ótimo com os esgotos afluentes e em tratamento.

Para bom funcionamento deve se evitar:

Formação de curto-circuitos: caminhos preferenciais que diminuem o contato;

Formação de zonas mortas; e

Colmatação ou entupimento de sistemas de distribuição mal projetados ou mantidos.

MÓDULO IV – 4.5 Reatores UASB, ou DAFA, ou RAFA

Para minimizar tais problemas, deve:

- Remoção de sólidos grosseiro e flutuantes;

- Remoção de areia;

- Distribuição adequado do esgoto no reator;

- Velocidade ascensional no interior no reator: na zona de sedimentação e na zona de transição, os esgoto deve manter velocidade compatível com a forma de escoamento desejado até alcançar o vertedor de coleta do efluente, onde se caracterizará uma taxa de vazão superficial, como adiante descrito;

MÓDULO IV – 4.5 Reatores UASB, ou DAFA, ou RAFA

Para minimizar tais problemas, deve:

Acumulo de espuma: a espuma formada, deve ser retirada ou reinjetada para degradação no interior do reator, evitando-se a perda de matéria graxa no afluente;

Volume do reator: se relaciona diretamente com o TRH, que em geral é de 6 a 10 horas para esgotos domésticos;

A dimensão resultante da unidade devem ser compatíveis com os parâmetros de velocidade ascensional na unidade, e a profundidade útil de cerca de 4 a 6m.

MÓDULO IV – 4.6 Parâmetros de Projeto

O bom projeto de um reator UASB costuma obter um efluente com a eficiência média da ordem de 65% de remoção de DQO, e 70% de remoção de DBO.

Geralmente, no caso de esgoto doméstico, um efluente com concentração máxima de DBO inferior a 120mg/l e de SST inferior a 80mg/L pode ser obtido. Estes valores influenciados pelo TRH.

MÓDULO IV – 4.6.1 Tempo de detenção hidráulico

- Tipicamente este tempo está 6 e 10 horas.
- A tabela abaixo indica as faixas recomendadas segundo a variação da temperatura na Norma Brasileira (ref. 23.11).
- Fixado o tempo de detenção hidráulico, obtém-se imediatamente o volume do reator, $V=Q.t$

MÓDULO IV– 4.6.1 Tempo de detenção hidráulico

Temperatura	Tempo médio, b
15 a 17	≥ 10
18 a 21	≥ 8
22 a 25	≥ 7
>25	≥ 6

- Reatores UASB com tempos de detenção hidráulico muito baixos apresentam em consequência velocidades ascendentes do fluxo muito altas, resultando em arraste da biomassa com o efluente, redução do tempo de residência celular, redução da eficiência.

MÓDULO IV – 4.6.2 Cargas aplicadas

- A carga orgânica volumétrica aplicada COV ($\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$) pode também ser o parâmetro de dimensionamento do volume do reator, relacionando-se indiretamente com o tempo de detenção hidráulico.
- Sendo S_0 a concentração do substrato afluente, DQO ou DBO ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

- $\text{COV} = \frac{Q \cdot S_0}{V}$ e $V = \frac{Q \cdot S_0}{\text{COV}}$

- Tipicamente 2,5 a 3,5 $\text{kg DQO}/\text{m}^3$
(industrial até 10x a mais)

MÓDULO IV – 4.6.3 Velocidade ascensional

A velocidade ascensional é um parâmetro importante, que deve ser definido de forma criteriosa, pois garante o melhor contato entre o substrato afluyente e a biomassa, mantém o tempo de detenção hidráulico de projeto, e se aproximadamente igual em toda a seção do reator, reduz as possibilidades de curto-circuito.

$$v = \frac{Q}{A}$$

Condição da vazão	Velocidade ascensional, m/h
Vazão média	<0,7
Vazão máxima	<1,2
Picos temporários (*)	<1,5

(*) Com duração entre 2 e 4 horas

MÓDULO IV – 4.6.4 Profundidade do Reator

- A profundidade útil do reator UASB costuma ser de 4 a 6 m, e evidentemente mantém um relacionamento direto com volume e área, e com tempo de detenção hidráulico, e velocidade ascensional. Assim a profundidade pode ser inicialmente definida, e os demais parâmetros verificados, ou vice-versa.
- O compartimento inferior de digestão poderá ter pelo 2,5m, e o comprimento superior de sedimentação pelo menor 1,5m.

MÓDULO IV – 4.6.4 Distribuição do esgoto afluyente

- A alimentação do reator é feita pelo fundo, da seguinte forma: o esgoto desarenado afluí a uma caixa superior de distribuição circular ou retangular, localizada sobre a laje superior do UASB, da qual descem tubos verticais de distribuição conduzindo o esgoto até o fundo do tanque para então liberá-lo para a distribuição ascensional.

MÓDULO IV – 4.6.5 Distribuição do esgoto afluente

- O diâmetro dos tubos de distribuição do afluente deve ser preferencialmente 75 ou 100 mm, guardando as seguintes relações:
- Baixa velocidade descendente, inferior a 0,2m/s, de modo a evitar o arraste de bolhas de ar para o interior do tanque;
- Distribuição homogênea ao longo de toda a seção do fundo do tanque, cada tubo distribuidor podendo atingir 3,0 m², para o caso de esgoto doméstico e lodo flocculante;
- Redução do diâmetro do tubo junto ao fundo, para cerca de 50mm, de modo a promover uma maior velocidade de saída junto ao fundo: a extremidade do tubo pode distar cerca 0,15m do fundo do tanque (0,10 a 0,20).

MÓDULO IV – 4.6.6 Distribuição do esgoto afluyente

- No decantador propriamente dito 2 parâmetros sobressaem: a taxa de vazão superficial e o tempo de detenção hidráulico

Condição de vazão	Taxa aplic. Superf. m/h	Tempo detenção (Horas)
Vazão média		>1,5
Vazão Máxima	<1,2	>1
Picos temporários (2 a 4h)	<1,6	>0,5

MÓDULO IV – 4.6.6 Distribuição do esgoto afluyente

- Juntamente

Condição de vazão	Velocidade, m/h
Vazão média	<2,5
Vazão máxima	<4,0
Picos temporários (2 a 4h)	<6,0

A coleta do efluente tratado se dá ao longo de calhas vertedores ou por meio de tubos perfurados na superfície do líquido.

MÓDULO IV – 5.0 Lodos Ativados

Veremos:

- Definição de lodos ativados;
- Conceito do processo;
- Características do tratamento;
- Vantagens e Desvantagens;



MÓDULO III – 5.0 Lodos Ativados - Conceito

- O que é esse sistema chamados LODOS ATIVADOS?
 - Falamos sobre Fossa Séptica!
 - Sobre Lagoas de estabilização!
 - Hoje sobre UASB!
- Agora entramos em outro patamar de sistema! Vale relembrar?

MÓDULO IV – 5.0 Lodos Ativados - Conceito



MÓDULO IV – 5.0 Lodos Ativados - Conceito

- Fossa Séptica!
- Lagoas de estabilização!
 - UASB!

- São processos “SIMPLES”, em comparação a Lodos ativados!
 - Onde aplico esses três?
 - Onde não aplico esses três como único processo?

MÓDULO III – 5.0 Lodos Ativados - Conceito

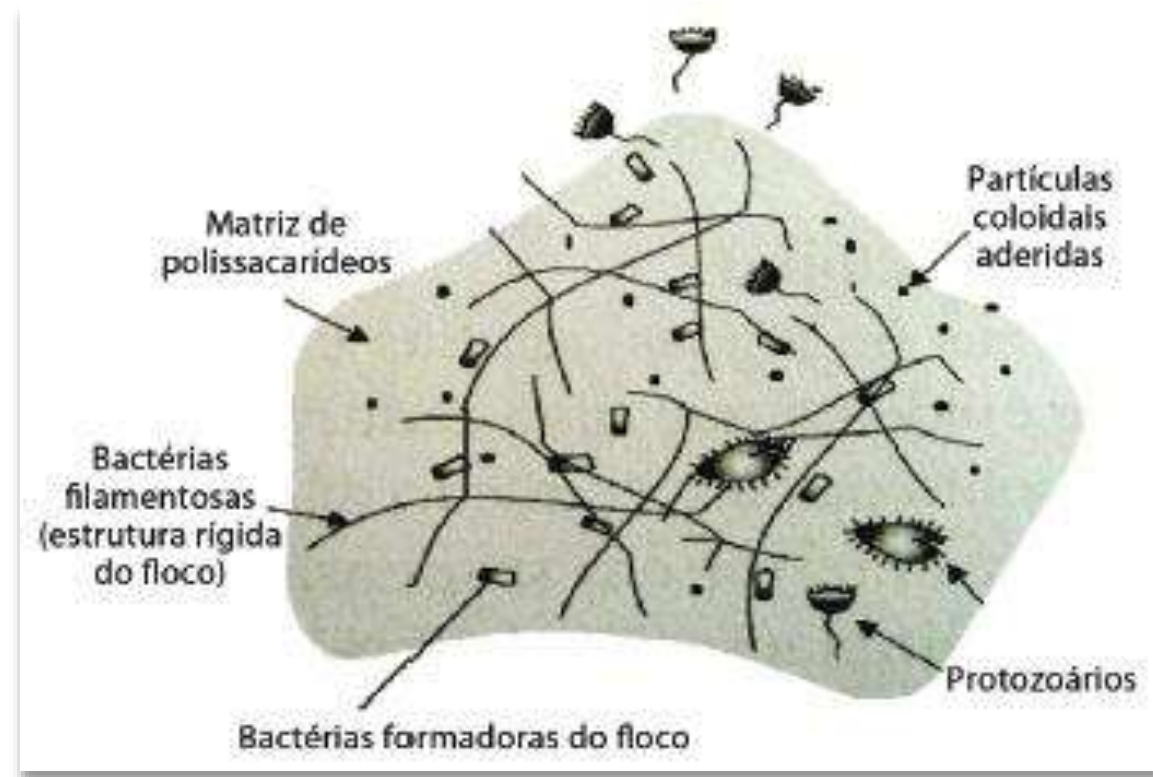


MÓDULO III – 5.0 Lodos Ativados - Conceito



MÓDULO IV – 5.0 Lodos Ativados - Conceito

Lodo ativados é o floco produzido num esgoto bruto ou decantado pelo crescimento de bactérias zoogleias ou outros organismos, na presença de oxigênio dissolvido, e acumulado em concentrações suficiente graças ao retorno de outros flocos previamente formados.



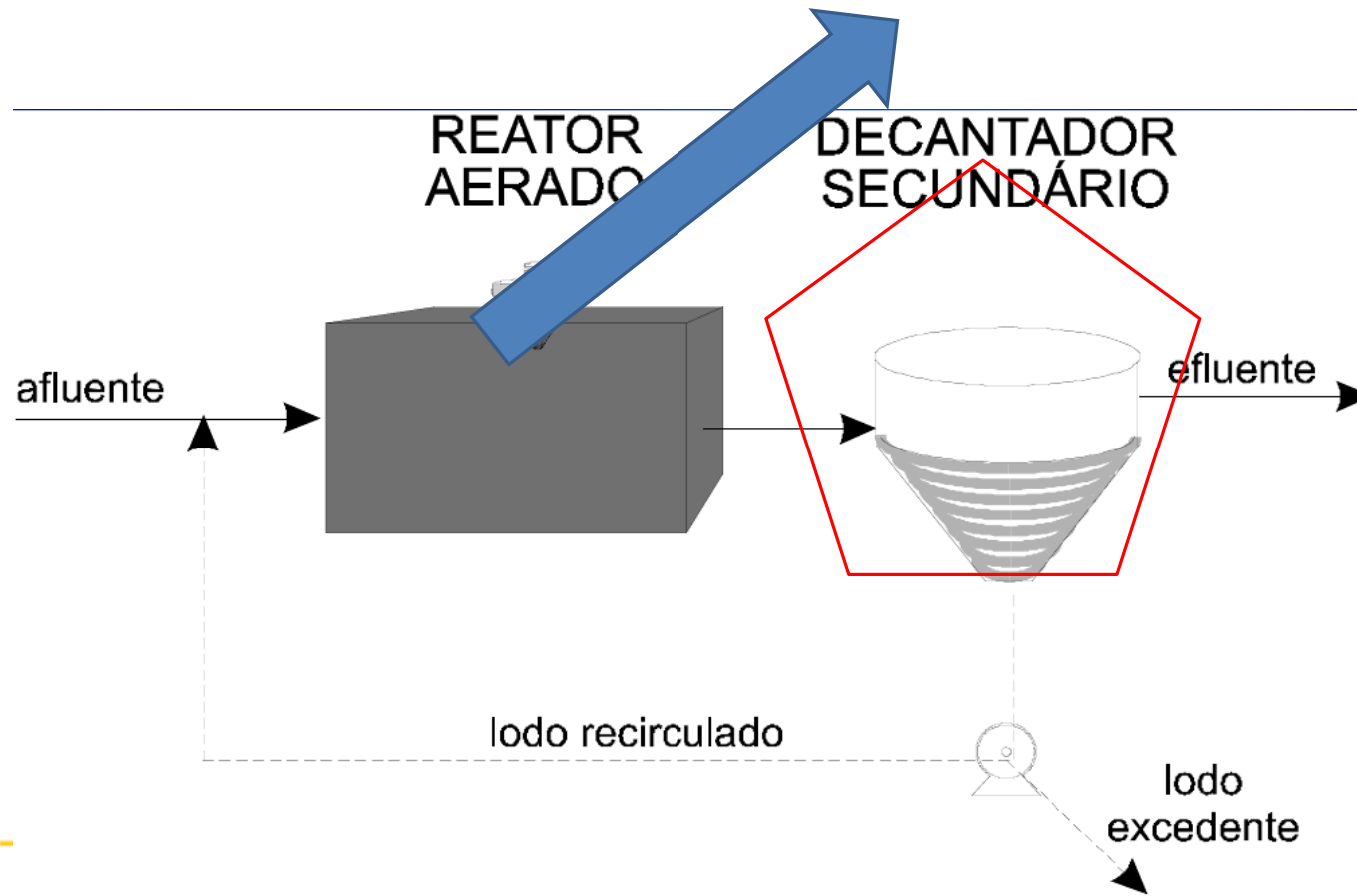
<http://www.meiofiltrante.com.br>

MÓDULO IV – 5.0 Lodos Ativos - Conceito

O lodo ativado é misturado, agitado e aerado.

Processo Biológico

Processo aeróbico



MÓDULO IV – 5.1- Características do tratamento

- ➔ Necessidade de aeração;
- ➔ Volume do tanque deve ser adequado, para o tratamento adequado;



MÓDULO IV – 5.1- Características do tratamento

• Vantagens x Desvantagens

• Vantagens:

- Maior eficiência de tratamento;
- Maior flexibilidade de operação;
- Menor área ocupada em relação à filtração biológica.

• Desvantagens:

- Operação mais delicada;
- Necessidade de completo controle de laboratórios; e
- Custo maior de operação em relação à filtração biológica.

MÓDULO IV– 5.1- Características do tratamento

Processo	DBO Aplicada (g/m ³ .dia)	População equivalente (Hab.m ³)
Filtração biológica		
- De baixa capacidade	175	5
- De alta capacidade	875	25
Lodos ativados		
- De baixa capacidade	1800	50
- De alta capacidade	3600	100

MÓDULO IV– 5.2- Evolução histórica

- No final do século 19 e início do século 20 o tratamento biológico estava iniciando.
- Em 1913, foi recebida a comunicação de um novo processo chamado “lodos ativados” capaz de produzir um efluente claro, límpido, sem odor, de alta qualidade. Isto ocorreu em 1913.
- Os primeiros trabalhos foram feitos na Inglaterra por Dr. Angres Smith e Gilbert John Fowler. Em 1912 no EUA por Clark e Gauge.

MÓDULO IV – 5.2- Evolução histórica

- Em 1914 dois discípulos de Fowler – Andern e Lockett, em uma apresentação técnica defendem o princípio de que o “húmus” sólido deverá ser preservado, ao invés de ser descartado.
- A partir desse período os EUA e Inglaterra começam a disputar a liderança e as inovações no processo.

MÓDULO IV – 5.2- Evolução histórica

Cidade	ETE	Vazão (m³/s)	Sistemas de Aeração
Chicago	West-Southwest	45	Ar difuso
São Paulo	Barueiri	28	Ar difuso

MÓDULO III – 5.3- Eficiência

Processo	Remoção DBO (%)	TRH	SSTA (mg.L ⁻¹)	Idade do Lodo Dias	A/M Kg DBO/Kg SSVTA	Carga Volumétrica Kg.DBO.m ³ TA	Qr/Q (%)
Convencional	85-95	4-8	1500-4000	4-15	0,2-0,4	0,3-0,6	25-50
Alta capacidade	80-90	1-2	3000-5000	2-4	0,4-1,5	1,1-3,0	30-100
Aeração prolongada	90-95	16-36	3000-6000	20-30	0,05-0,15	0,05-0,4	100-300
Oxigênio Puro	85-95	1-3	6000-8000	8-20	0,25-1,0	1,6-4,0	25-50

MÓDULO III – 5.4- Cinética do Processo

- Os fenômenos que ocorrem no interior do tanque de aeração, ou reator, simplesmente reproduzem os fenômenos que ocorrem na natureza, como por exemplo, quando uma contribuição de esgotos é lançado num corpo d'água e gera uma depleção de oxigênio.
- Na oxidação bioquímica aeróbia nas ETES, microrganismos aeróbios, principalmente bactérias e protozoários, utilizam para seu metabolismo uma parcela da massa de composto orgânicos existente no esgoto, chamada genericamente de alimento ou substrato, e uma massa de oxigênio que é fornecida ao tanque de aeração.

MÓDULO III – 5.4- Cinética do Processo

- Por metabolismo se entende os processos químicos que dão margem à formação de material celular, ou crescimento dos organismos, e as reações de produção de energia, fundamentais para o crescimento celular, com os quais ocorre também a degradação da matéria orgânica.



MÓDULO III – 5.5- Algumas considerações

- Fossa Sépticas, UASB, Lagoas de estabilização removem nitrogênio amoniacal?
- Porque mesmo assim são aplicadas a esgotos domésticos?
- Vamos observa a normativa federal?

MÓDULO III – 5.5- Algumas considerações

- A CONAMA 430/2011 estabelece
- Art. 21. Para o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários deverão ser obedecidas as seguintes condições e padrões específicos:
- § 1º As condições e padrões de lançamento relacionados na Seção II, art. 16, incisos I e II desta Resolução, poderão ser aplicáveis aos sistemas de tratamento de esgotos sanitários, a critério do órgão ambiental competente, em função das características locais, não sendo exigível o padrão de nitrogênio amoniacal total.

MÓDULO III – 5.5- Algumas considerações

- Diferente dos anteriores, no lodos ativados, quando previsto é possível a nitrificação – Nitrogênio amoniacal para Nitrito-Nitrato.
- Tem importância ambiental ocorrer a nitrificação?

MÓDULO III – 5.5- Algumas considerações

- Diferente dos anteriores, no lodos ativados, quando previsto é possível a nitrificação – Nitrogênio amoniacal para Nitrito-Nitrato.
- Tem importância ambiental ocorrer a nitrificação?

MÓDULO III – 5.5- Algumas considerações

- Na verdade, o desenvolvimento histórico dos processos visando a nitrificação e a desnitrificação passa por **situações específicas e objetivos mais amplos**, podendo-se chamar atenção para os seguintes aspectos principais que influenciaram estudos e pesquisas mais recentes.



MÓDULO III – 5.5- Algumas considerações

- Na década de 60 e 70 se buscava na Inglaterra a obtenção de um efluente já nitrificado, de modo a reduzir a demanda de oxigênio nos corpos receptores;
- > As formas de nitrogênio amoniacal e de nitrato, favorecem o desenvolvimento de algas, e como tal sua eliminação é fortemente recomendada como forma de combater a eutrofização;
- A preocupação com a remoção de fósforo se inicia também nos anos 70, com o grande impulso na fabricação e uso de detergentes sintéticos.

MÓDULO III – 5.5- Algumas considerações



MÓDULO III – 5.5- Algumas considerações

- Lodos ativados são os primeiros processos que removem o nitrogênio amoniacal através de Nitrificação (obs. Quando previstas em projeto).
- $\text{NH}_4^+ + 1,5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} + \text{novas células (com presença de nitrosomas)}$
- $\text{NO}_2^- + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{novas células (com presença de nitrobactérias)}$

Os sentimentos de mudança só são relevantes quando eles se traduzem em ações!

Moises Bertges

➤ Muito obrigado