



MICROORGANISMOS DE IMPORTÂNCIA EM SANEAMENTO

Prof. Dr. Theo Syrto Octavio de Souza





SANEAMENTO





SANEAMENTO

- Duas abordagens para os microrganismos em saneamento:



EXTERMINAR

- Patogênicos
 - **Desinfecção**
 - **Controle do crescimento de biofilmes**

UTILIZAR

- Habilidades microbianas
 - **Tratamento de águas residuárias e contaminantes**



SANEAMENTO E MICRORGANISMOS PATOGENICOS OU NOCIVOS AOS SISTEMAS



MICROORGANISMOS PATOGÊNICOS

- Bactérias
- Vírus
- Protozoários
- Helmintos



Conhecimento das características para inativação eficiente desses organismos

- O que utilizar para promover desinfecção?
- Quanto tempo de contato é necessário?
- Que barreira pode-se utilizar para separar os patógenos?



MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS

- Desinfecção por cloro ou ozônio





MICRORGANISMOS PATOGENICOS

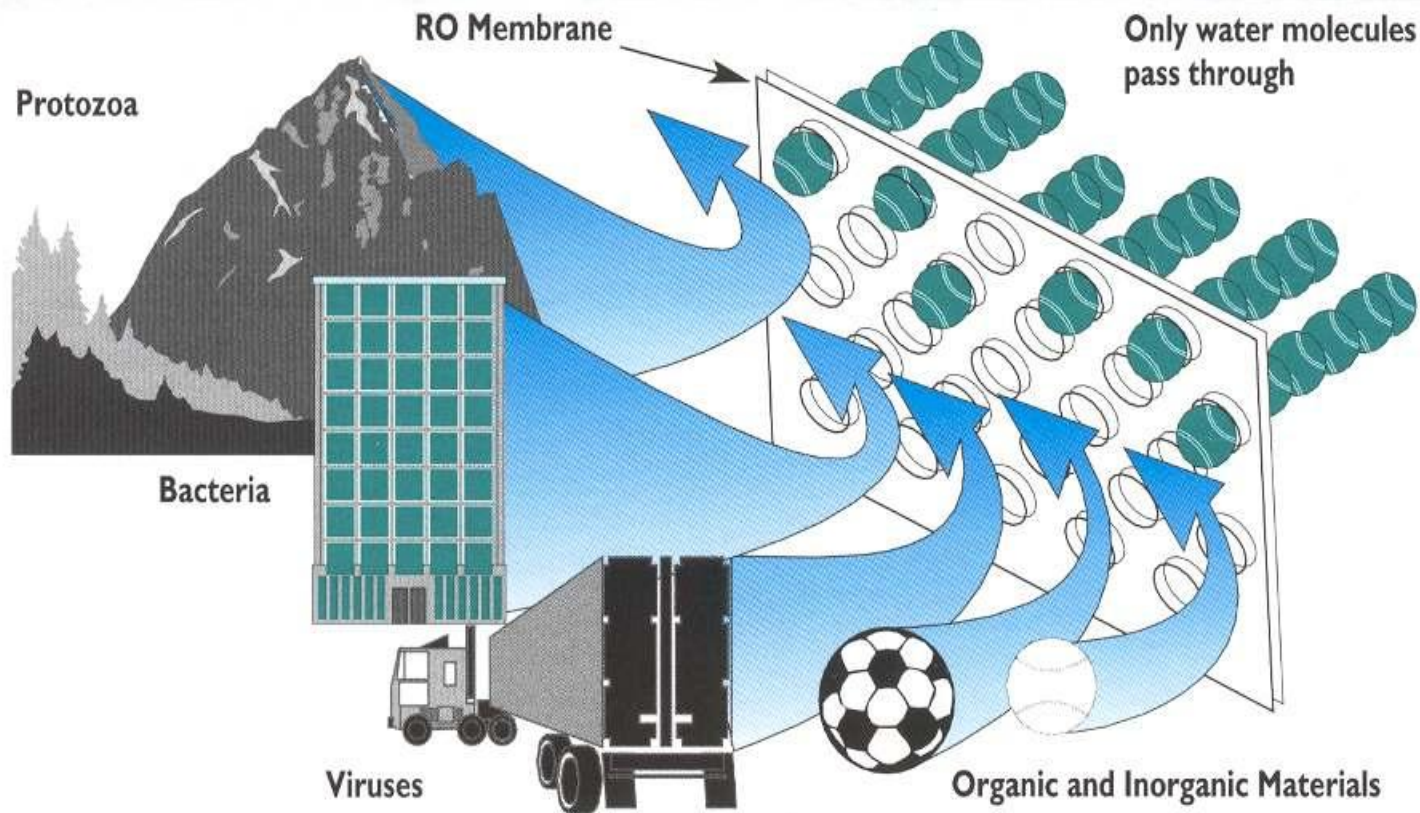
- Desinfecção por UV





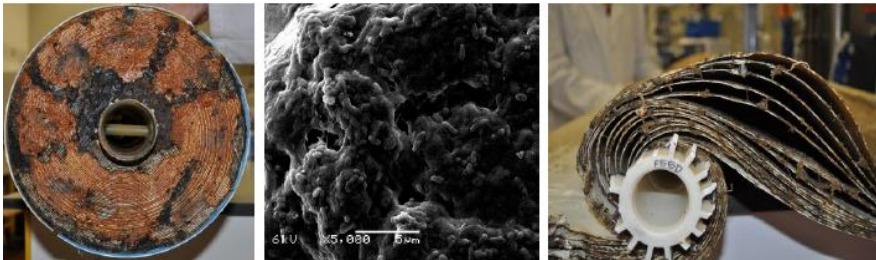
MICRORGANISMOS PATOGENICOS

○ Membranas

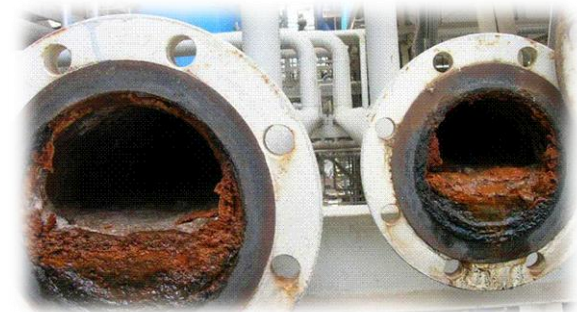




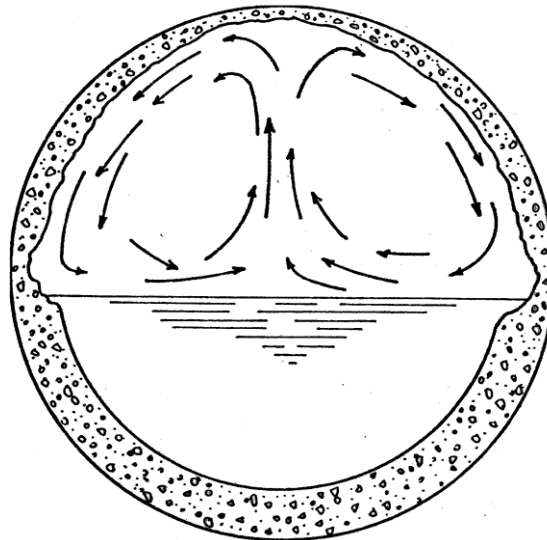
CONTROLE DE BIOFILMES



Fonte: www.wageningenur.nl



Fonte: seawaterfouling.wikispaces.com

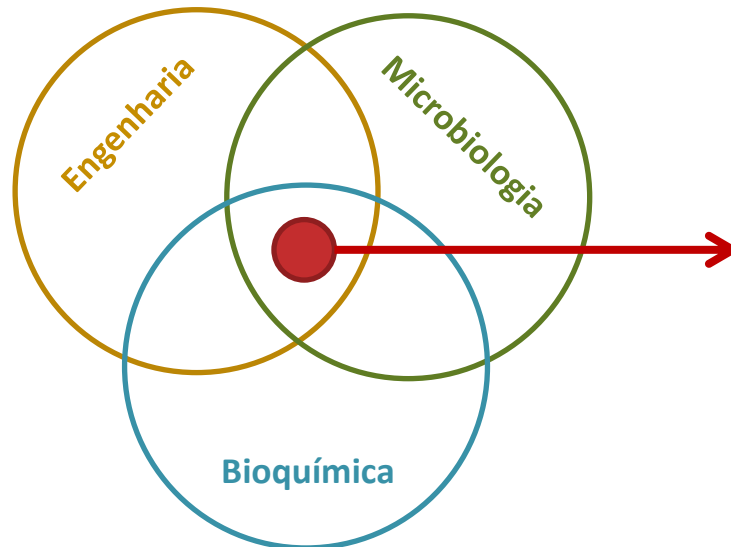
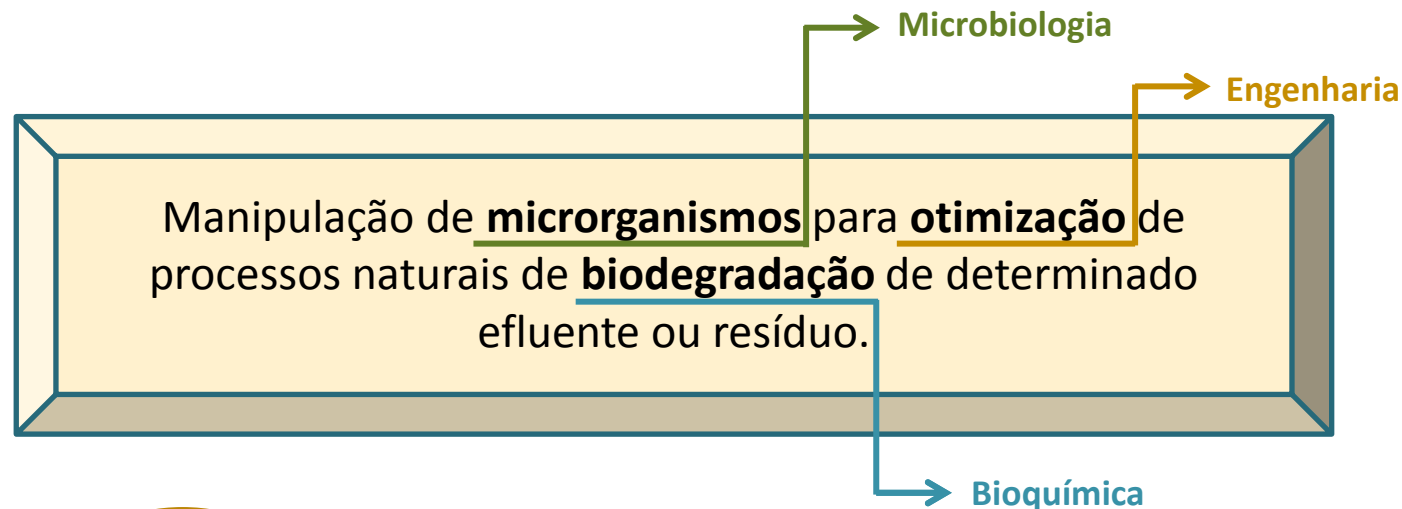




PROCESSOS BIOLÓGICOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES



TRATAMENTO BIOLÓGICO



Idealmente, são necessários profissionais que dominem simultaneamente as três áreas

Nem sempre é a realidade...



TRATAMENTO BIOLÓGICO

- Infinitude de microrganismos com habilidades variadas



EXPLORAÇÃO DE
HABILIDADES
MICROBIANAS



SOLUÇÕES PARA
TRATAMENTO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS E RESÍDUOS





TRATAMENTO BIOLÓGICO

- O conhecimento das características dos microrganismos permite à engenharia dimensionar e operar sistemas contendo:

- Processos aeróbios
- Processos anaeróbios
- Nitrificação e desnitrificação
- Remoção de fósforo
- Redução de sulfato e oxidação de sulfetos
- Remoção de contaminantes específicos ou tóxicos
- Manejo de lodo
- Processos fotossintéticos
- Produção de microalgas e biocombustíveis
- Etc





PROCESSOS AERÓBIOS

○ Processos aeróbios:

- Alta eficiência energética para as células
- Forma mais antiga de promover tratamento de efluentes
 - Lodos ativados: início do século XX
- Altamente difundidos pelo mundo em aplicações de engenharia
- Eficiência aliada a custos
- Alta produção de lodo





PROCESSOS AERÓBIOS



Lodos ativados



Filtros biológicos



Lagoas aeradas

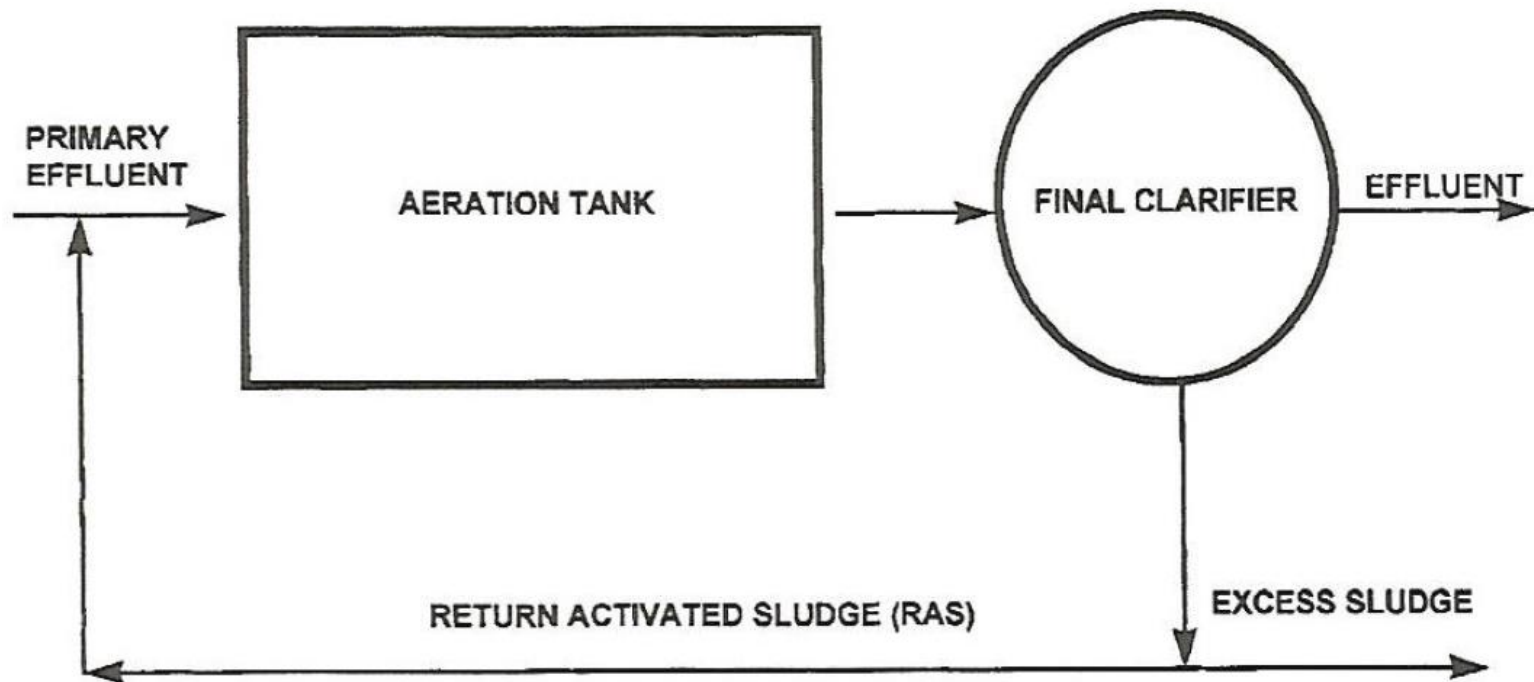


Biodiscos



PROCESSOS AERÓBIOS

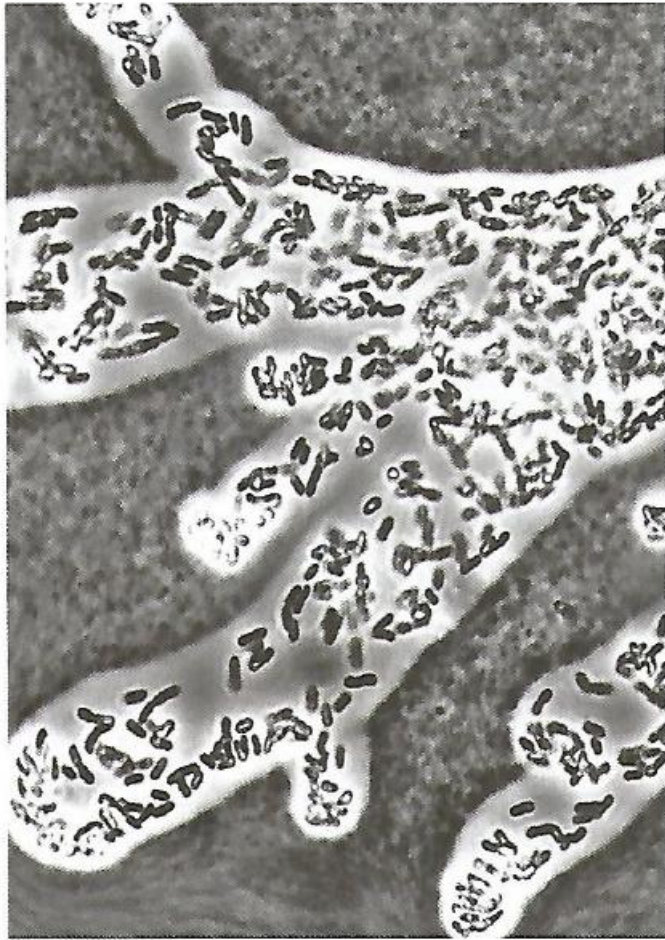
○ Lodos ativados



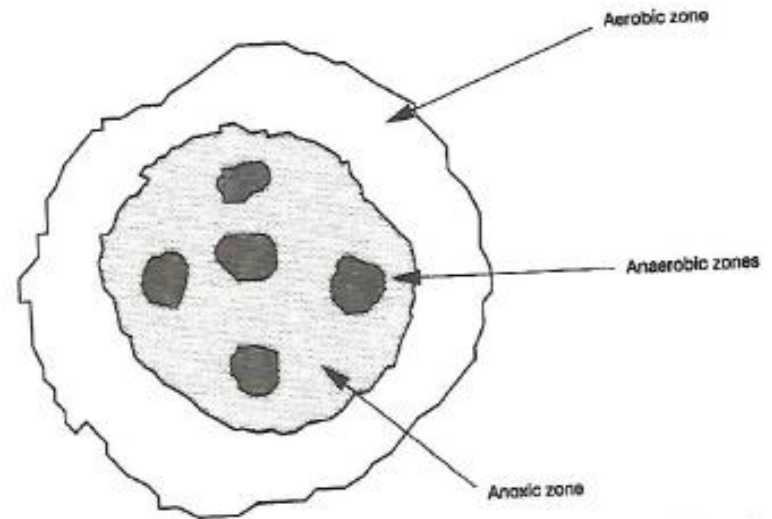
- Sistema dimensionado levando-se em conta a cinética de crescimento dos microrganismos



PROCESSOS AERÓBIOS



Zooglea



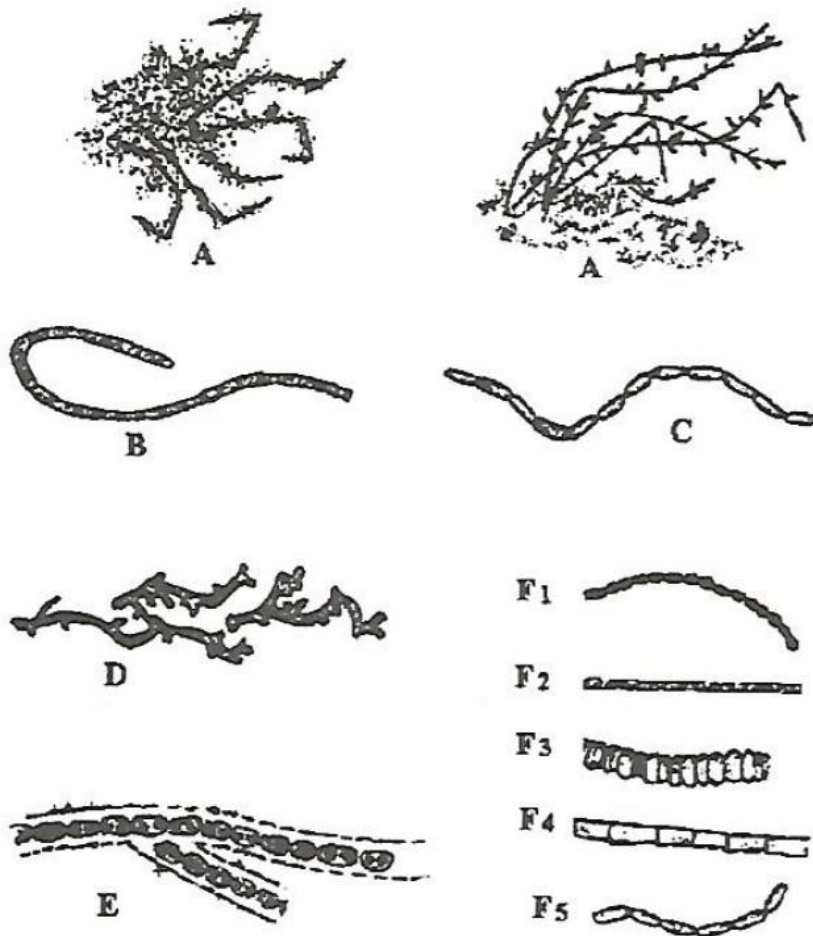
Floco biológico

Fonte: Bitton (2005)



PROCESSOS AERÓBIOS

o Lodos ativados – Bulking filamentoso





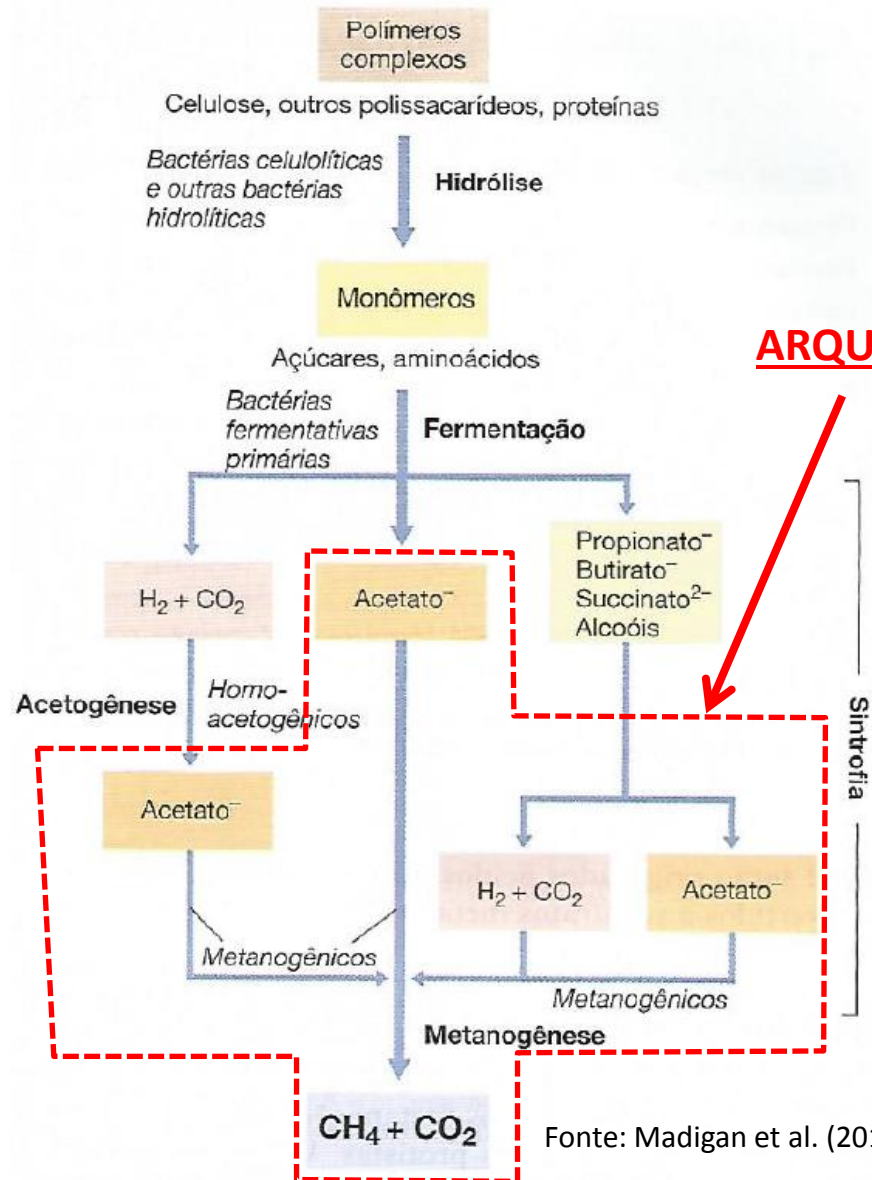
PROCESSOS ANAERÓBIOS



PROCESSOS ANAERÓBIOS



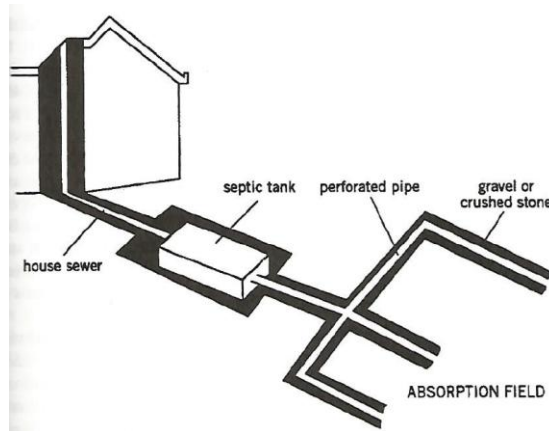
- Sequência de reações
- Diferentes grupos responsáveis por cada etapa
- Bacteria* e *Archaea*
- Equilíbrio entre os processos é fundamental
- Sintrofia



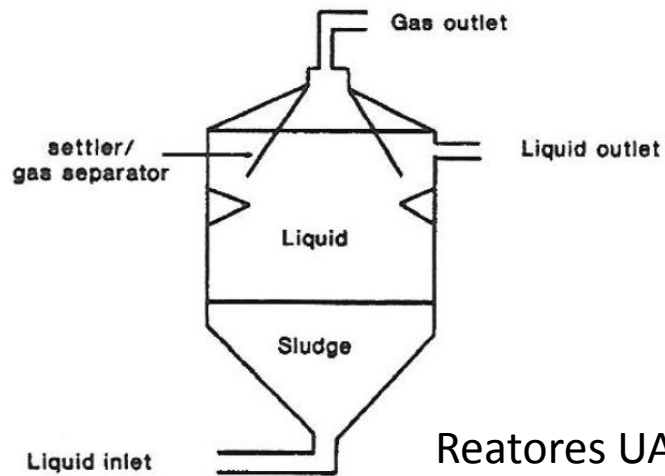
Fonte: Madigan et al. (2010)



PROCESSOS ANAERÓBIOS



Fossas sépticas



Reatores UASB



Digestores anaeróbios



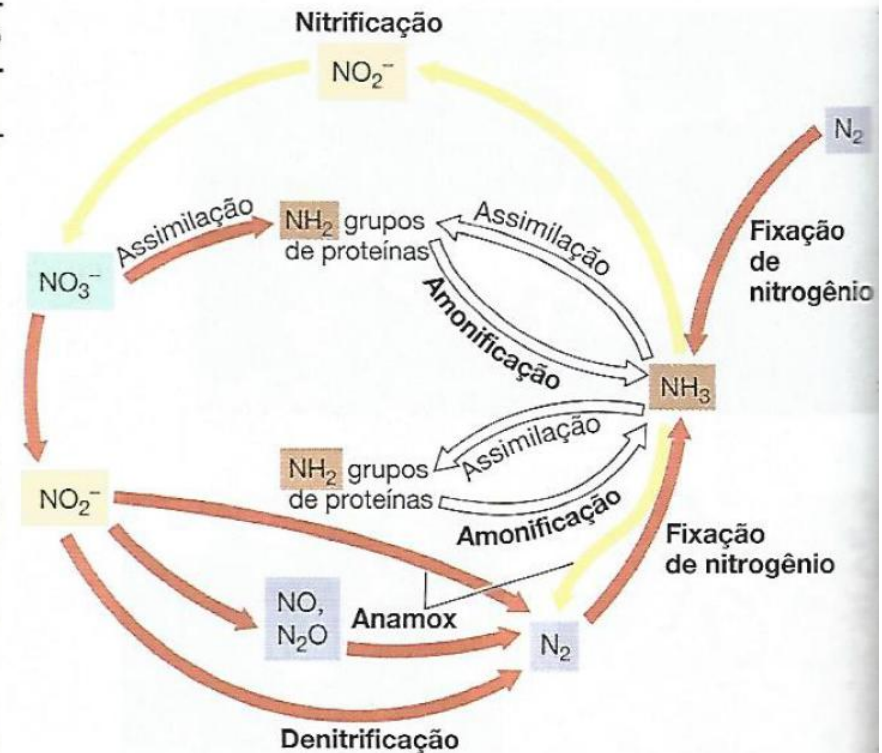
Aterros sanitários



NITRIFICAÇÃO/DESNITRIFICAÇÃO

Processos Essenciais e Procariotos no Ciclo do Nitrogênio

Processos	Exemplos de organismos
Nitrificação ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$)	
$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$	<i>Nitrosomonas</i>
$\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$	<i>Nitrobacter</i>
Denitrificação ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$)	<i>Bacillus</i> , <i>Paracoccus</i> , <i>Pseudomonas</i>
Fixação de N_2 ($\text{N}_2 + 8\text{H} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2$)	
De vida livre	
Aeróbios	<i>Azotobacter</i> Cianobactérias
Anaeróbios	<i>Clostridium</i> , bactérias púrpuras e verdes
Simbióticos	<i>Rhizobium</i> <i>Bradyrhizobium</i> <i>Frankia</i>
Amonificação (N-orgânico $\rightarrow \text{NH}_4^+$)	Diversos organismos são capazes de realizar
Anamox ($\text{NO}_2^- + \text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N}_2$)	<i>Brocadia</i>

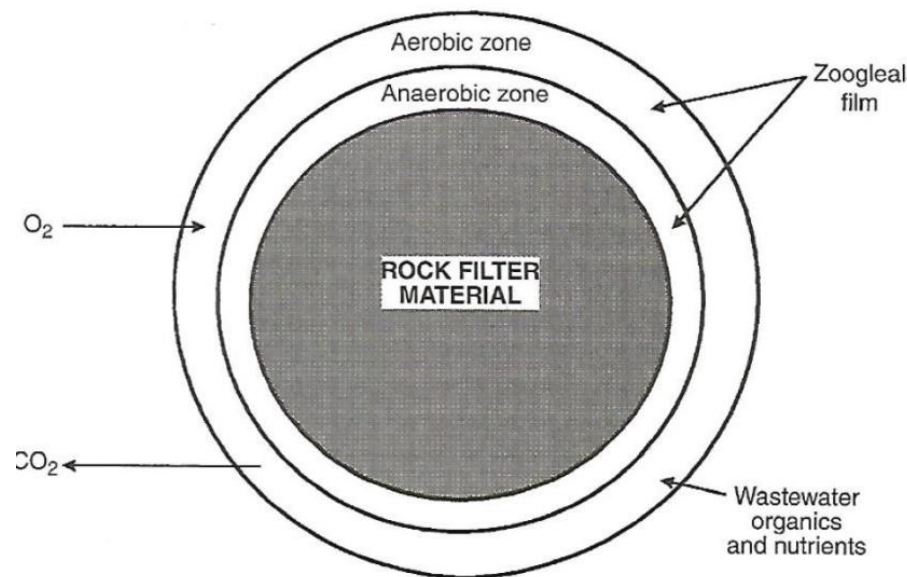


Fonte: Madigan et al. (2010)



NITRIFICAÇÃO/DESNITRIFICAÇÃO

- Nitrificantes crescem lentamente: sistemas devem ser dimensionados com alto tempo de retenção celular
 - Idade do lodo alta em sistemas de lodos ativados
 - Biofilmes



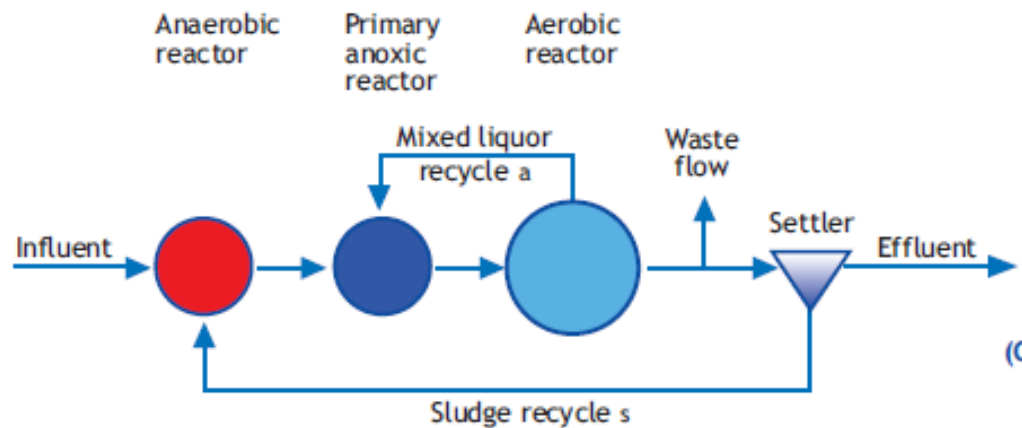
Fonte: Bitton (2005)



NITRIFICAÇÃO/DESNITRIFICAÇÃO

- Desnitrificantes respiram nitrato ou nitrito utilizando matéria orgânica como fonte de doadores de elétrons
 - Estratégias para aproveitamento da matéria orgânica do afluente
 - Adição de fontes exógenas de doadores de elétrons
 - Manipulação de biofilmes: nitrificação e desnitrificação simultâneas

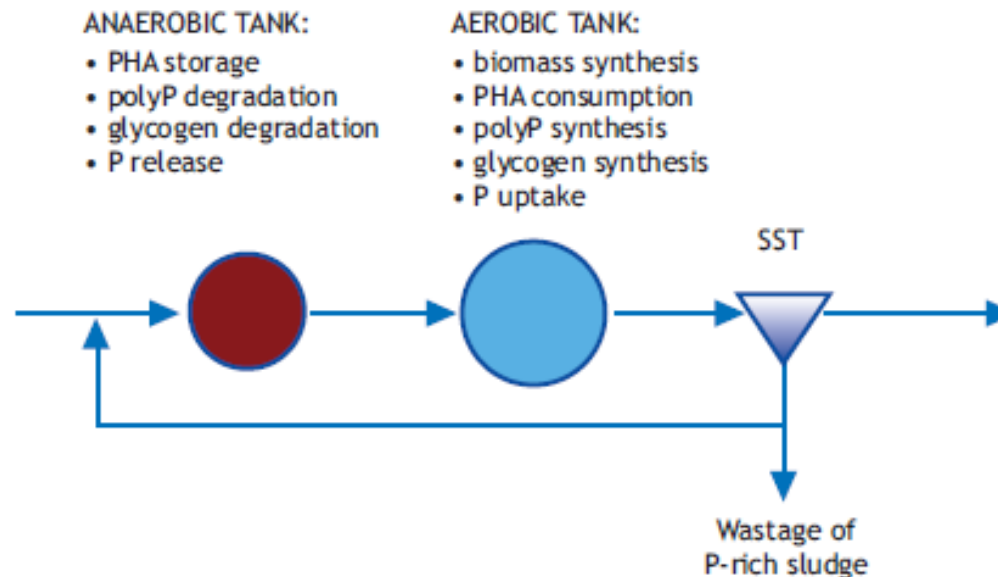
(A) 3-stage Modified Bardenpho (A2O)





REMOÇÃO DE FÓSFORO

- Phosphorus Accumulating Organisms (PAOs)
 - *Candidatus Accumulibacter Phosphatis*
- Possuem um metabolismo específico em ambiente anaeróbico e aeróbico que permite o armazenamento de fósforo nas células

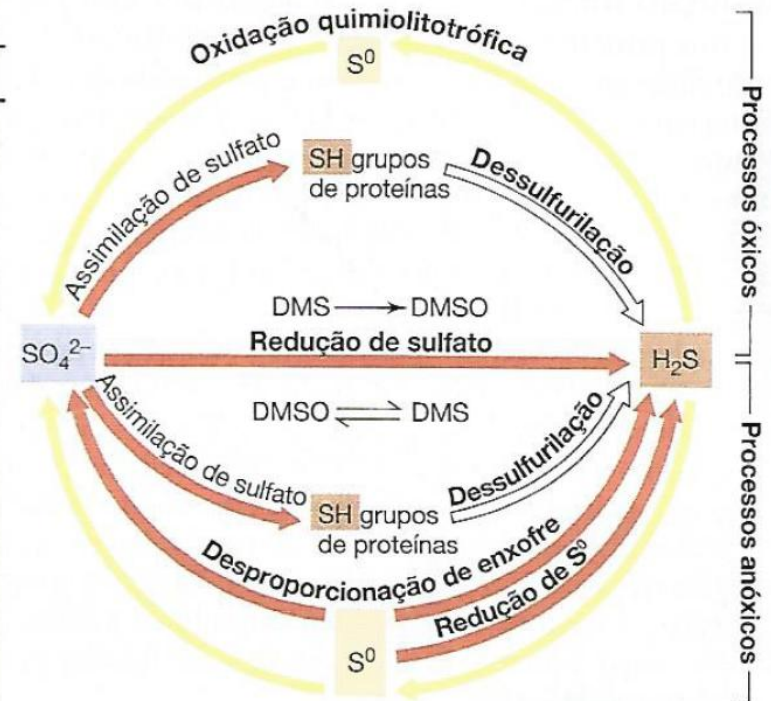




REDUÇÃO DE SULFATO/OXIDAÇÃO DE SULFETOS

Processos Essenciais e Procariotos no Ciclo do Enxofre

Processos	Exemplos de organismos
Oxidação de sulfeto/enxofre ($\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S}^0 \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$)	
Aeróbio	Quimiolitotróficos de enxofre (<i>Thiobacillus</i> , <i>Beggiatoa</i> , muitos outros)
Anaeróbio	Bactérias fototróficas púrpuras e verdes, alguns quimiolitotróficos
Redução de sulfato (anaeróbio) ($\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{S}$)	<i>Desulfovibrio</i> , <i>Desulfobacter</i>
Redução de enxofre (anaeróbio) ($\text{S}^0 \rightarrow \text{H}_2\text{S}$)	<i>Desulfuromonas</i> , várias <i>Archaea</i> hipertermofílicas
Desproporcionamento de enxofre ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{SO}_4^{2-}$)	<i>Desulfovibrio</i> e outros
Oxidação ou redução de compostos orgânicos sulfurados ($\text{CH}_3\text{SH} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S}$) ($\text{DMSO} \rightarrow \text{DMS}$)	Vários organismos são capazes de realizar
Dessulfurilação (S-orgânico $\rightarrow \text{H}_2\text{S}$)	Vários organismos são capazes de realizar



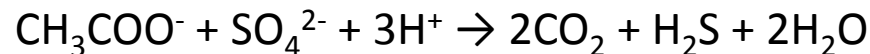
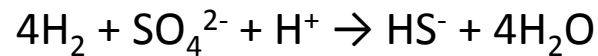
Fonte: Madigan et al. (2010)



REDUÇÃO DE SULFATO

Sulfato: receptor de elétrons menos favorável que O_2 e NO_3^-

Doadores de elétrons: hidrogênio ou alguns compostos orgânicos



Somente bactérias: **Bactérias Redutoras de Sulfato (BRS)**

Única exceção: *Archaeoglobus*

Temperature range for growth of a number of SRB.

SRB ^a	Temperature (°C)	
	Range	Optimum
<i>Desulfobacter</i> [61]	28–32	
<i>Desulfobulbus</i> [61]	28–39	
<i>Desulfomonas</i> [61]	–	30
<i>Desulfosarcina</i> [61]	33–38	
<i>Desulfovibrio</i> [61]	25–35	
<i>Thermodesulforhabdus norvegicus</i> [101]	44–74	60
<i>Desulfotomaculum luciae</i> [102]	50–70	
<i>Desulfotomaculum solfataricum</i> [103]	48–65	60
<i>Desulfotomaculum thermobenzoicum</i> [104]	45–62	55
<i>Desulfotomaculum thermocisternum</i> [105]	41–75	62
<i>Desulfotomaculum thermosapovorans</i> [106]	35–60	50
<i>Desulfacinum infernum</i> [107]	64	–

^a All species listed in this table are neutrophile.

OXIDAÇÃO BIOLÓGICA DE SULFETO E RECUPERAÇÃO DE ENXOFRE ELEMENTAR



- Processo quimiolitotrófico
- Microrganismo típico:
 - *Thiobacillus sp*
- Oxidação a SO_4^{2-} ou a S^0 :
 - Disponibilidade de O_2
- Condições microaeróbias:
 - Direcionam a formação de S^0
 - Abaixo de $0,1 \text{ mg O}_2/\text{L}$ (Lens et al., 1998)

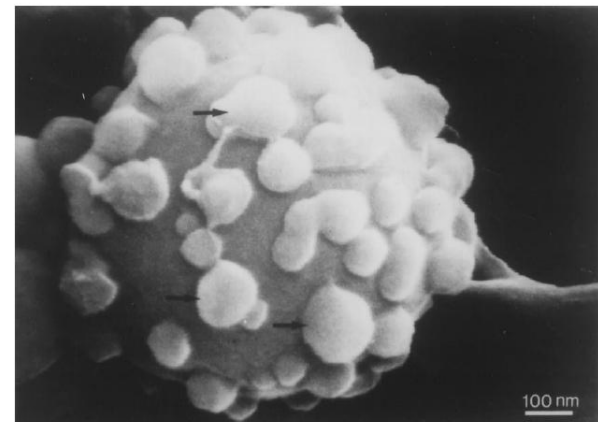


Fig. 2. Scanning electron micrograph of the surface of a sulphur-excreting *Thiobacillus* at -180°C . Sulphur excretion on the cell surface is visible (arrows) [29].

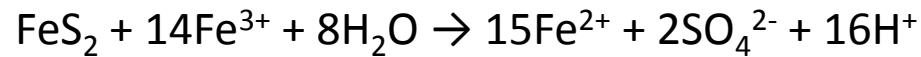
Janssen et al. (1999)

APLICAÇÃO PARA O CICLO DO ENXOFRE: DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS

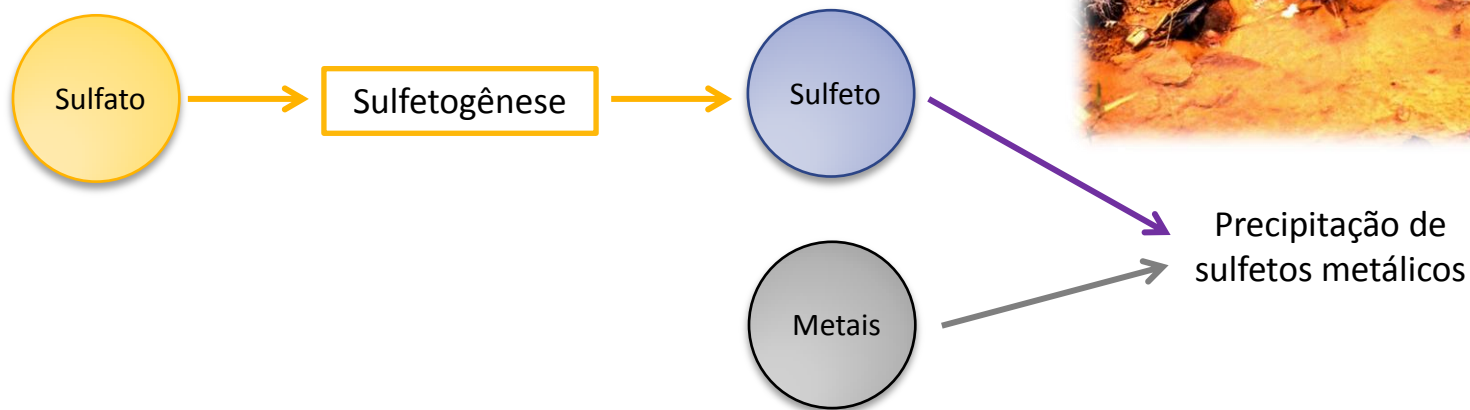


○ Drenagem ácida de minas

- Exposição da pirita às intempéries:



- Resultado: efluente contendo ácido sulfúrico e metais
- Alternativa:





BIODEGRADAÇÃO DE COMPOSTOS TÓXICOS

Descloração redutiva do PCB

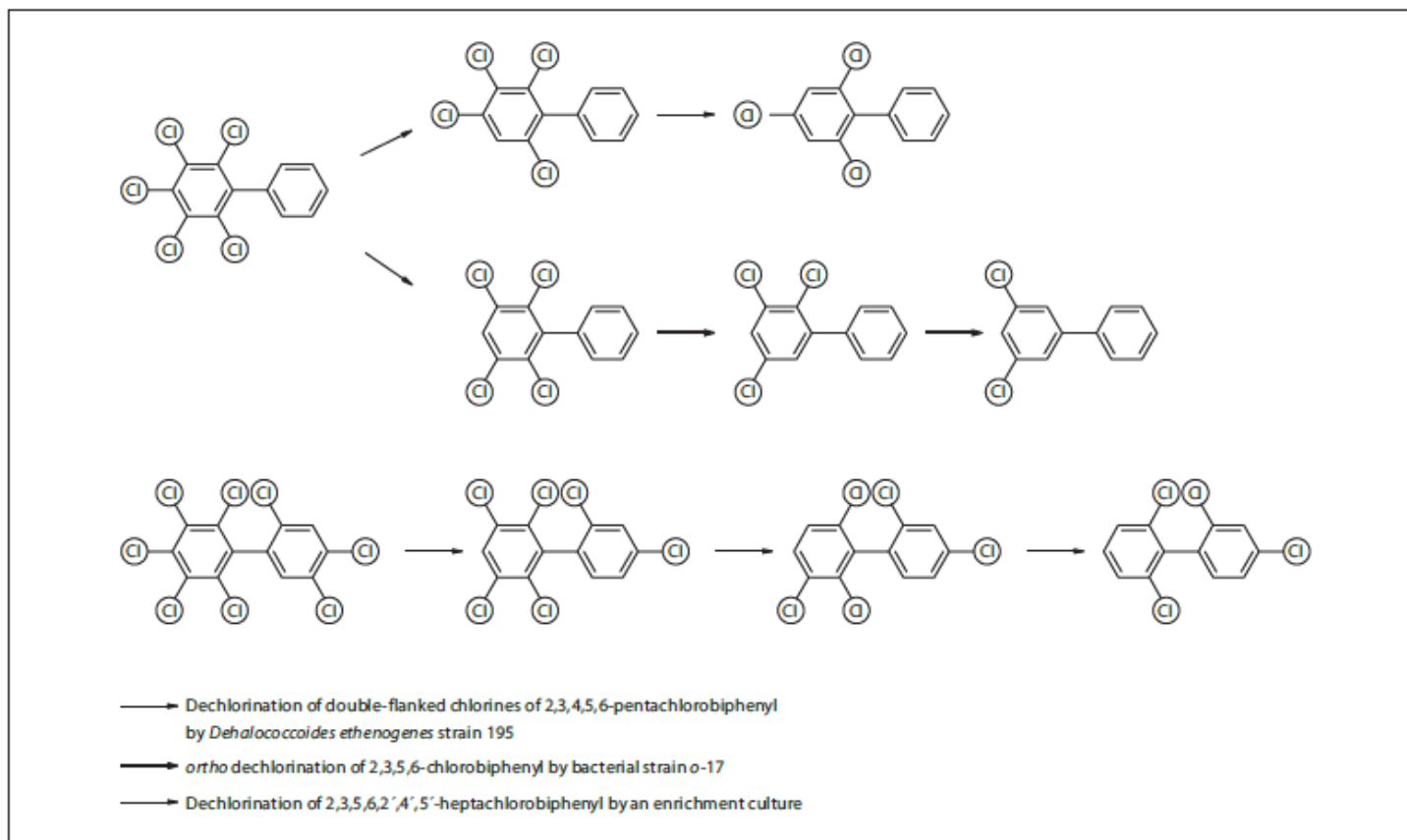


Fig. 1. Bacterial reductive dehalogenation of selected polychlorinated biphenyls by *Dehalococcoides* and related bacteria and by an enrichment culture [Bedard et al., 2006; Cutter et al., 2001; Fennell et al., 2004].



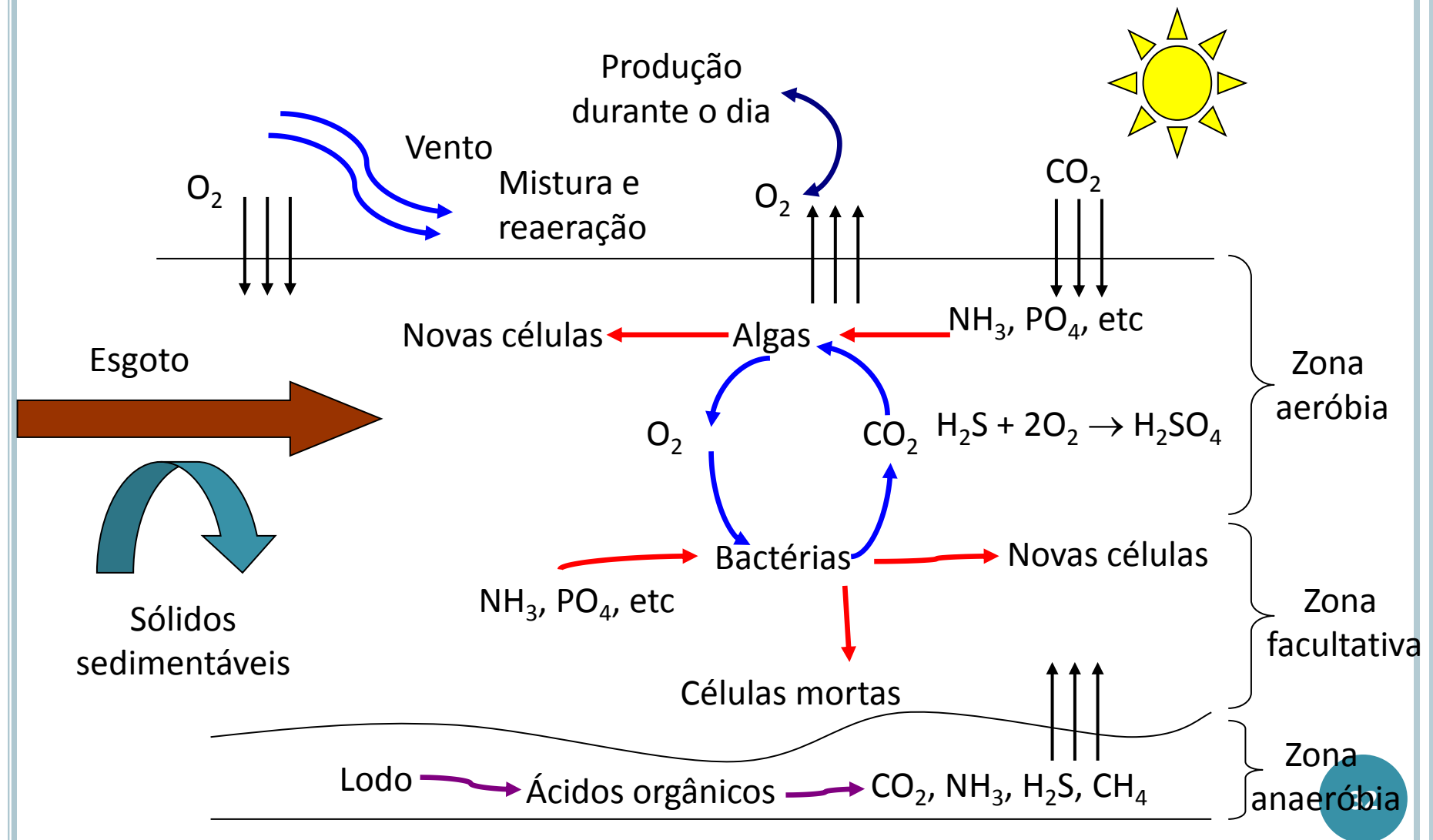
PROCESSOS FOTOSSINTÉTICOS



Novo Horizonte – 36.000 hab



PROCESSOS FOTOSSINTÉTICOS





PROCESSOS FOTOSSINTÉTICOS

o Lagoas de algas



Fig. 3 – Aerial view of the Cyanotech Corporation's microalgae production facility in Kona, Hawaii. Courtesy of Cyanotech (USA).

Muñoz and Guieysse (2006)



BIOFILMES



VANTAGENS DA FORMAÇÃO DE BIOFILMES

○ Vantagens do ponto de vista **microbiano**:

- 1 **AUTO-DEFESA** Forças físicas, fagocitose, moléculas tóxicas
- 2 **NICHO FAVORÁVEL** Fixação em substratos ou em locais de abundância de substrato
- 3 **COLABORAÇÃO ENTRE CÉLULAS** Consumo de subprodutos, comunicação intercelular
- 4 **PERMUTA GENÉTICA** Troca de elementos genéticos, importante no processo evolutivo



VANTAGENS DA FORMAÇÃO DE BIOFILMES

○ Vantagens do ponto de vista de **biotecnologias de tratamento**:

- 1 **TEMPO DE RETENÇÃO CELULAR** Θ_c é desacoplado do TDH, permitindo o desenvolvimento de organismos de crescimento lento
- 2 **CARGAS DE CHOQUE** Maior resistência a cargas variáveis, intermitentes e tóxicas
- 3 **REATORES DE ALTA TAXA** Permitem a operação de reatores mais compactos
- 4 **REDUÇÃO DE CUSTOS** Menores custos na comparação entre algumas biotecnologias de tratamento

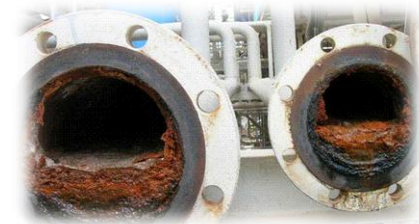


DESVANTAGENS DA FORMAÇÃO DE BIOFILMES

- Biofilmes só apresentam desvantagens quando crescem em **locais indesejados**, ou em **excesso**

LOCAIS
INDESEJADOS

- Equipamentos médicos
- Tubulações de águas de abastecimento
- Equipamentos e tubulações industriais
- Cascos de navios



Fonte: seawaterfouling.wikispaces.com

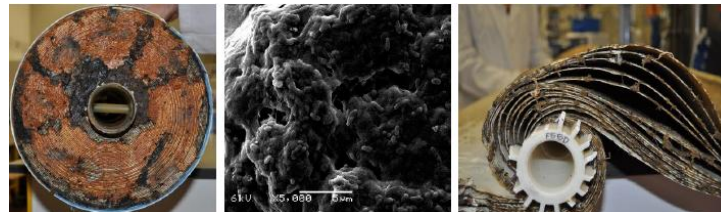


Fonte: www.agriculture.gov.au

EXCESSO DE
BIOFILME



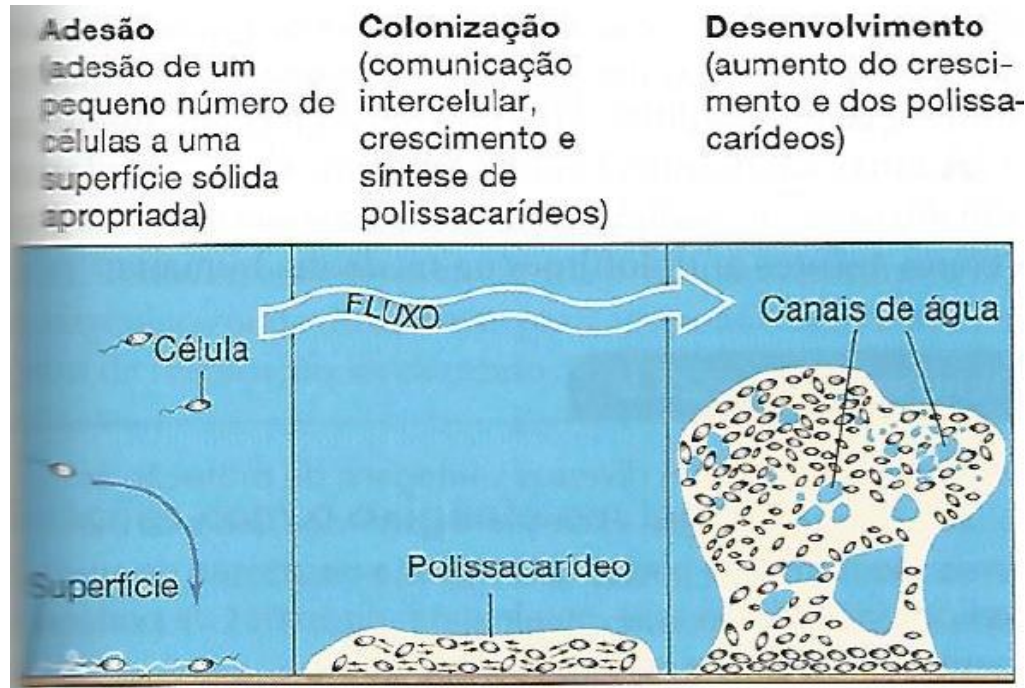
BIOFOULING



Fonte: www.wageningenur.nl



PROCESSO DE FORMAÇÃO DE BIOFILMES



Fonte: Madigan et al. (2010)

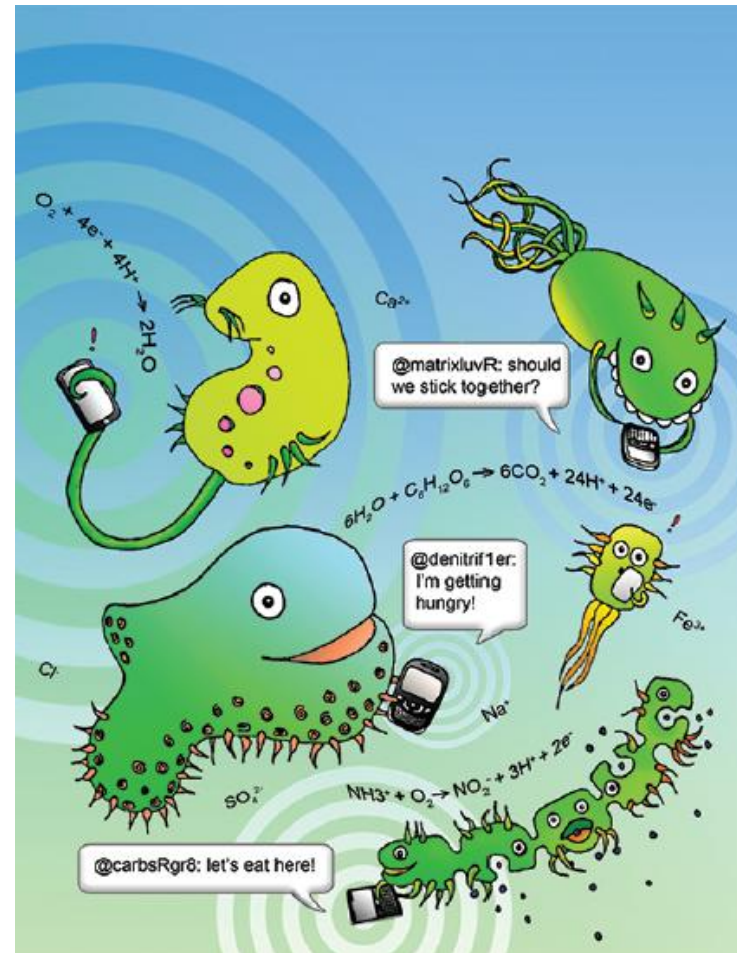
- Adesão: mecanismo de “percepção” ainda desconhecido
 - C-di-GMP (*cyclic dimeric guanosine monophosphate*): membrana
- Colonização: comunicação intercelular ➡ **Quorum sensing**



QUORUM SENSING

○ Exemplos de *quorum sensing*

- Formação de biofilme
- Síntese de antibióticos
- Esporulação
- Filamentação
- Virulência
- Bioluminescência



Fonte: Shrout and Nerenberg (2012)

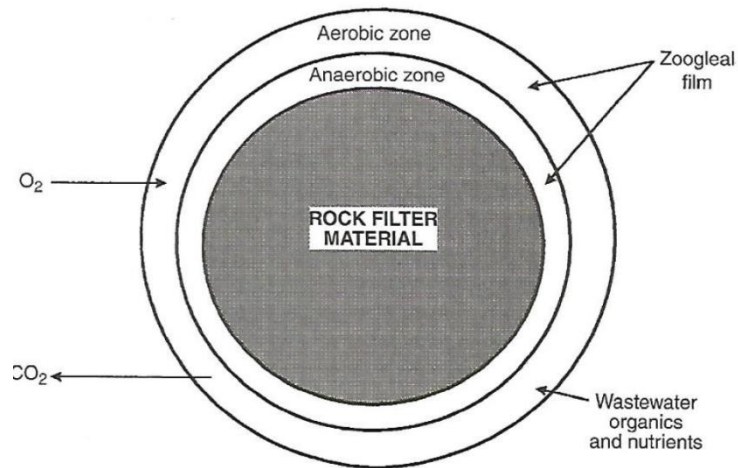


MEIOS SUPORTE

○ Material inerte



Fonte: www.birmingham.ac.uk



Fonte: Bitton (2005)

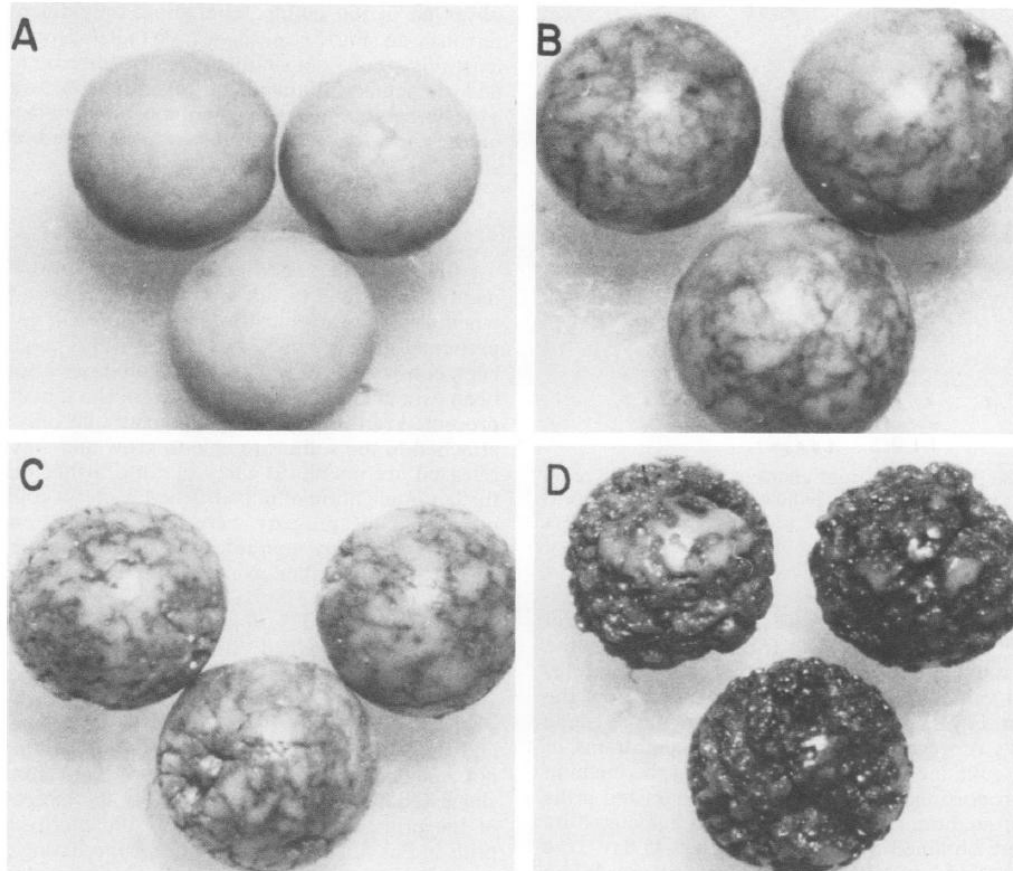


Fonte: www.rubbersealing.com



MEIOS SUPORTE

○ Substrato



Fonte: Espejo and Romero (1987)

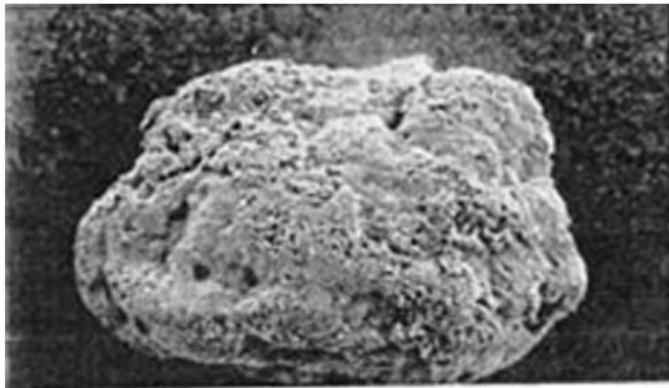
FIG. 2. Stereo microscopy of sulfur prills incubated for the indicated times with *T. ferrooxidans* and subsequently stained with crystal violet. (A) 0 h; (B) 8 days; (C) 30 days; and (D) 3 months with six successive transfers to fresh medium.



MEIOS SUPORTE

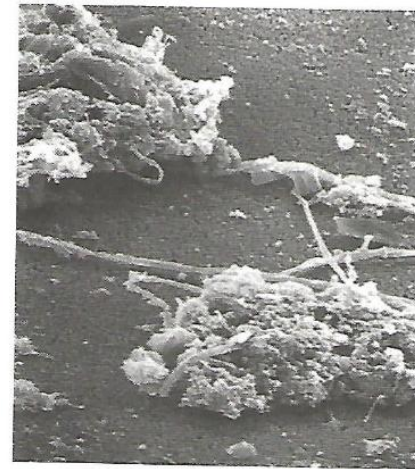
○ Auto-imobilização

Grânulos anaeróbios



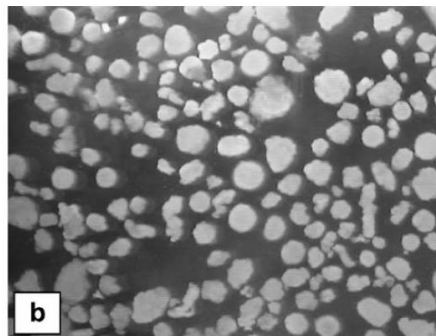
Fonte: Lim and Kim (2014)

Flocos biológicos



Fonte: Bitton (2005)

Grânulos aeróbios



Fonte: Tay et al. (2001)



ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETEs)

Tratamento preliminar

- ▶ Remoção de sólidos grosseiros/areia/gordura
- ▶ Gradeamento/Caixa de areia/Caixa de gordura

Tratamento primário

- ▶ Remoção de sólidos sedimentáveis
- ▶ Decantador primário

Tratamento secundário

- ▶ Remoção de matéria orgânica
- ▶ Reatores/Lagoas

Tratamento terciário

- ▶ Remoção de nutrientes/orgânicos complexos/desinfecção
- ▶ Unidades específicas

Manejo do lodo

- ▶ Tratamento e disposição do lodo
- ▶ Adensamento/Digestão/Secagem

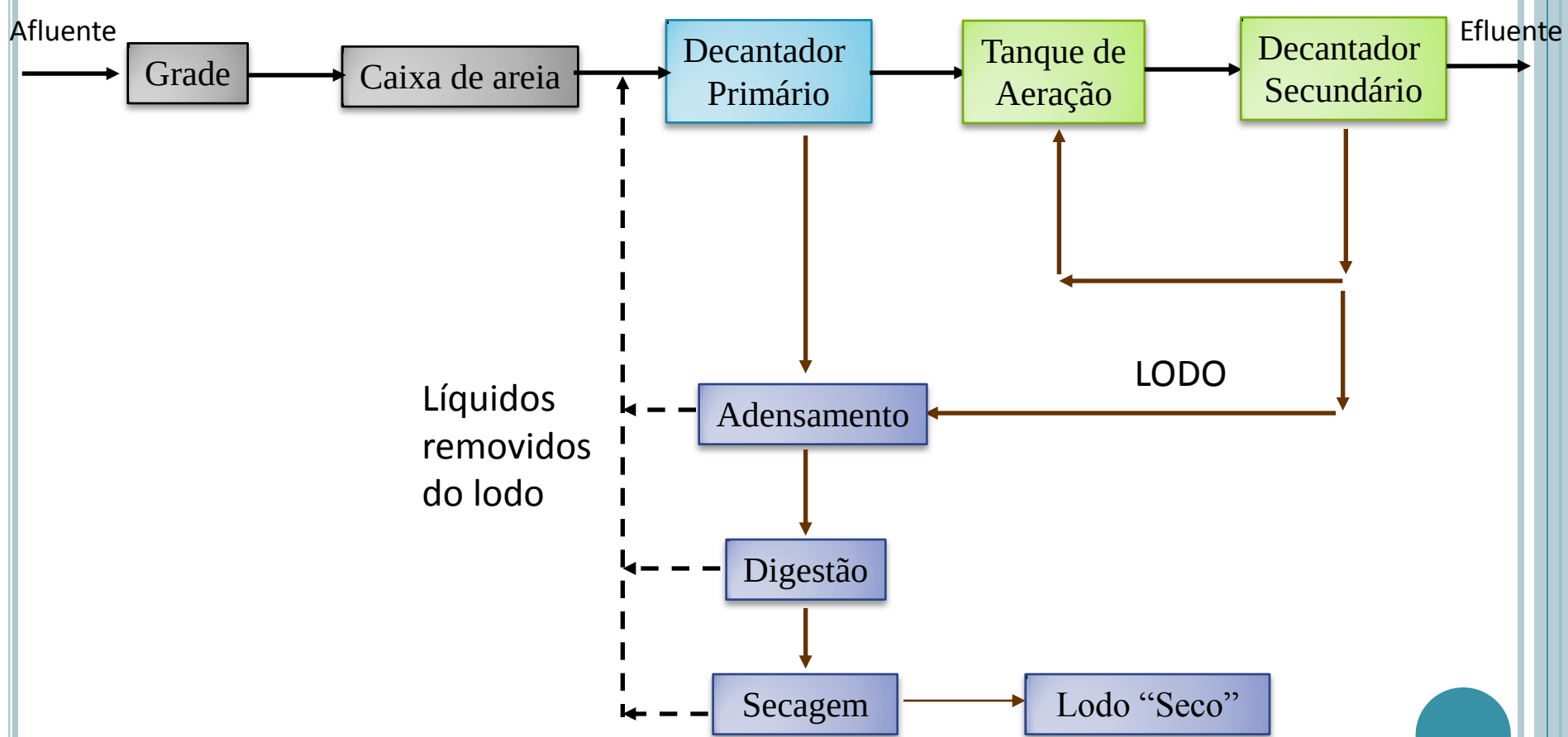


ESTA CLASSIFICAÇÃO É
VARIÁVEL DEPENDENDO
DO AUTOR



PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

○ Lodos ativados convencional



PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

- Lodos ativados convencional



ETE Barueri: $12 \text{ m}^3/\text{s}$ (sendo ampliada para $16 \text{ m}^3/\text{s}$)

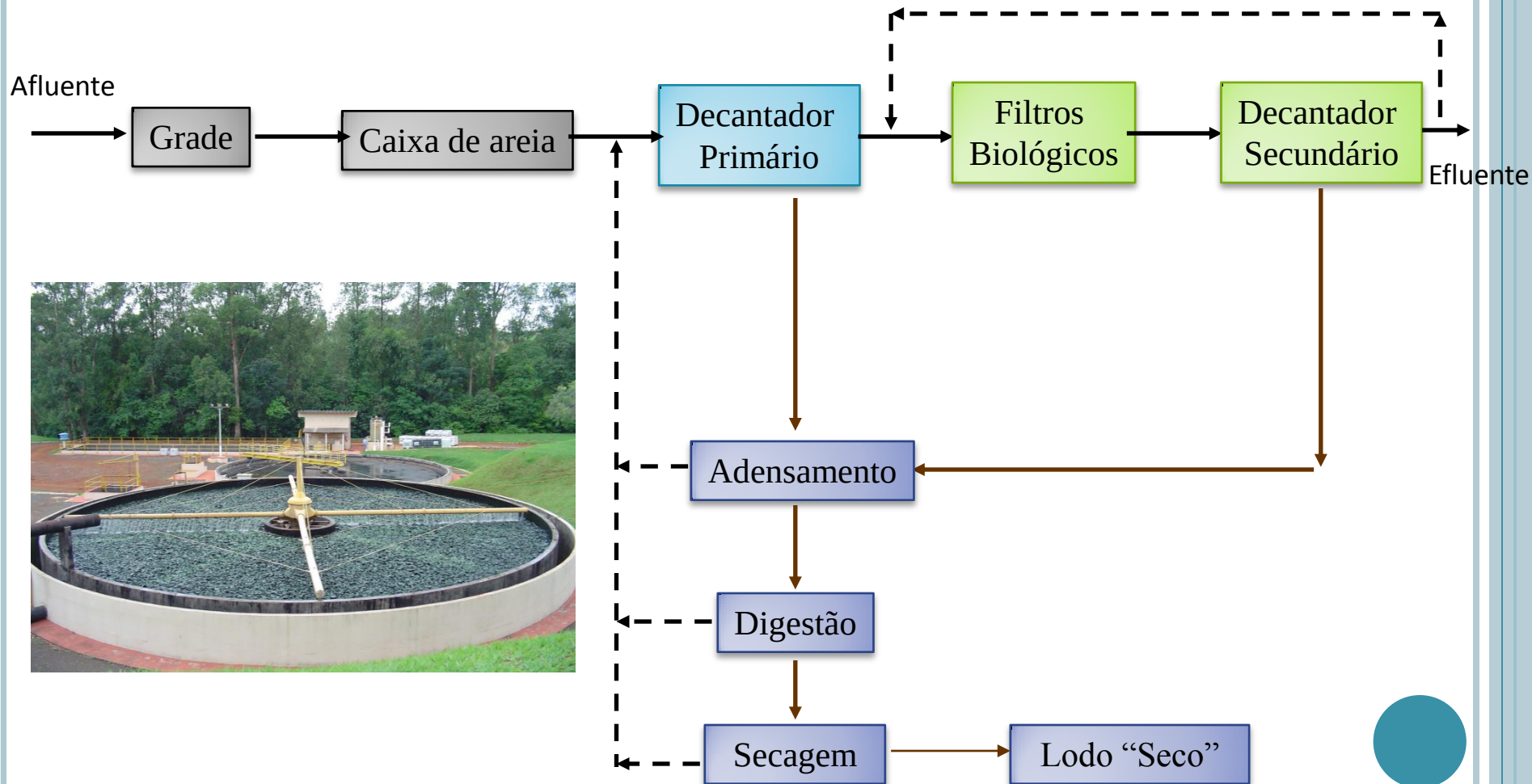
PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

- Lagoas aeradas seguidas de lagoas de decantação



PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

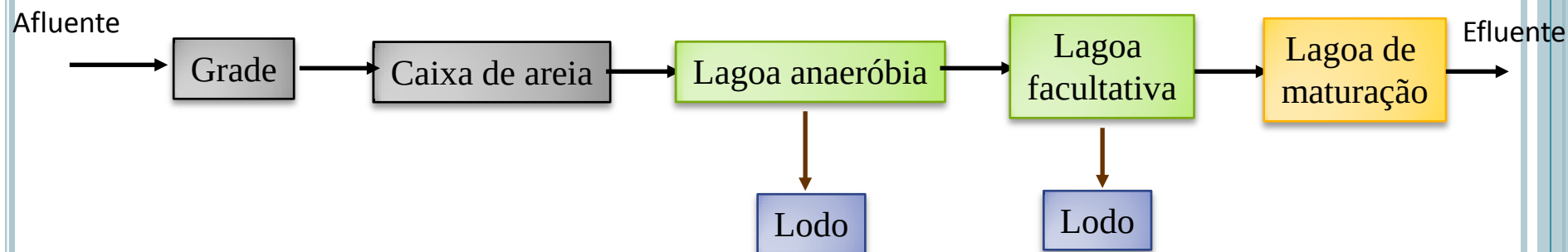
○ Filtros biológicos aeróbios



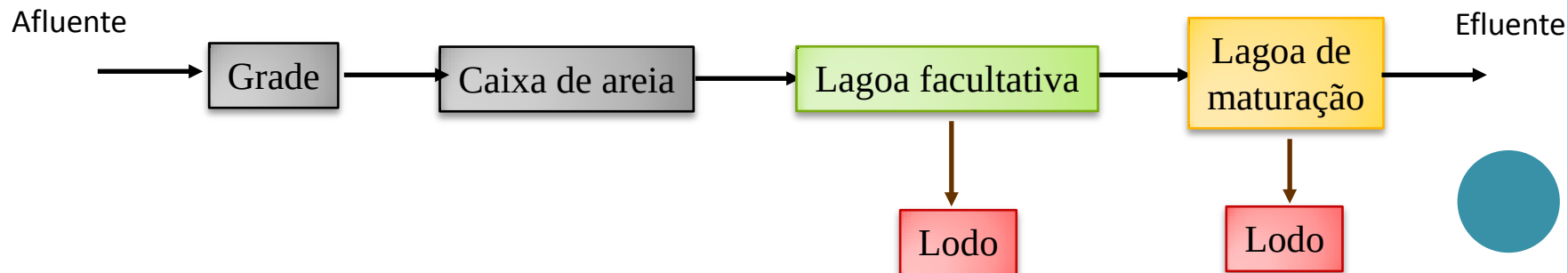
PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

○ Lagoas de estabilização

Sistema australiano



Lagoa facultativa primária



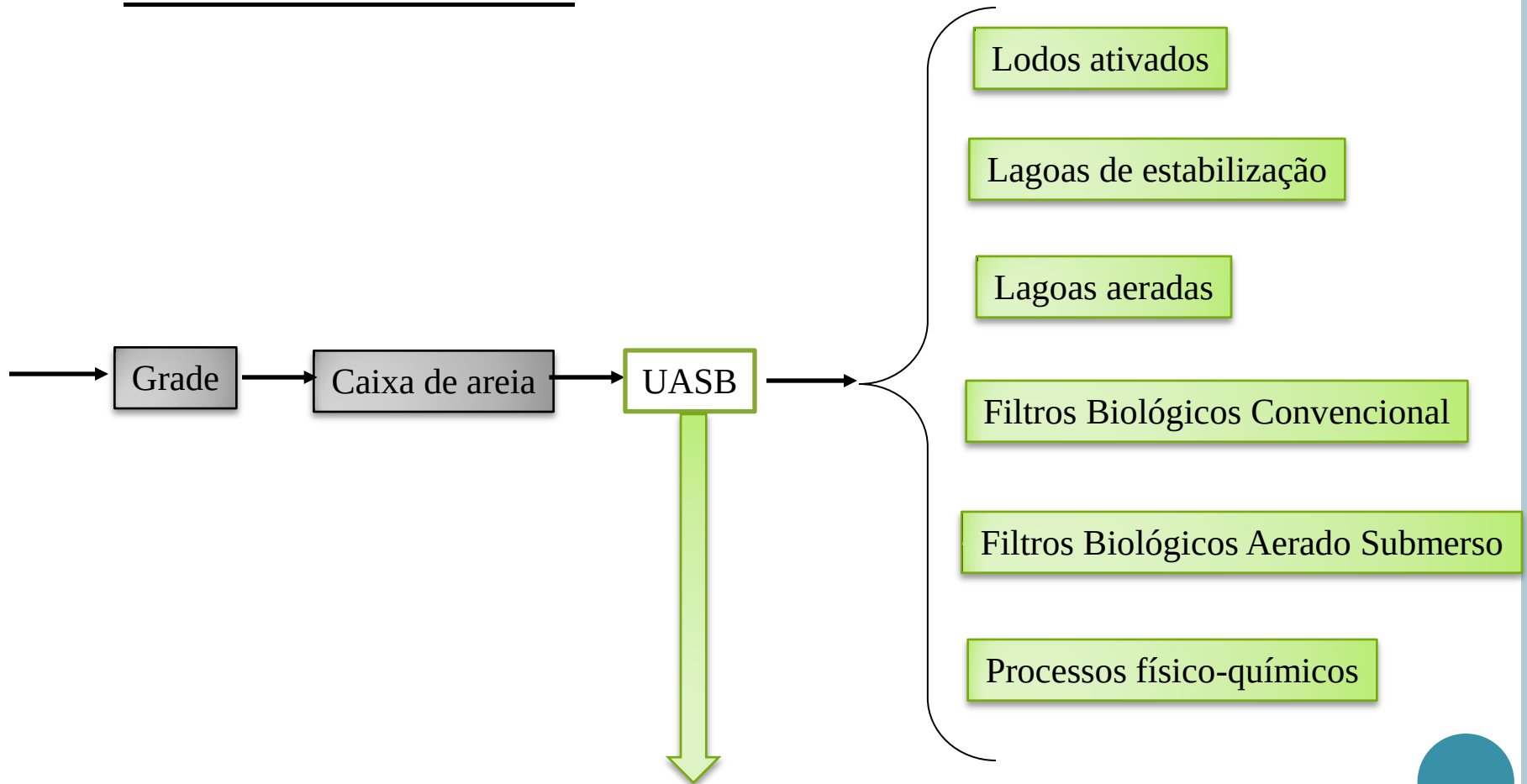
PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

- Lagoas de estabilização



PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

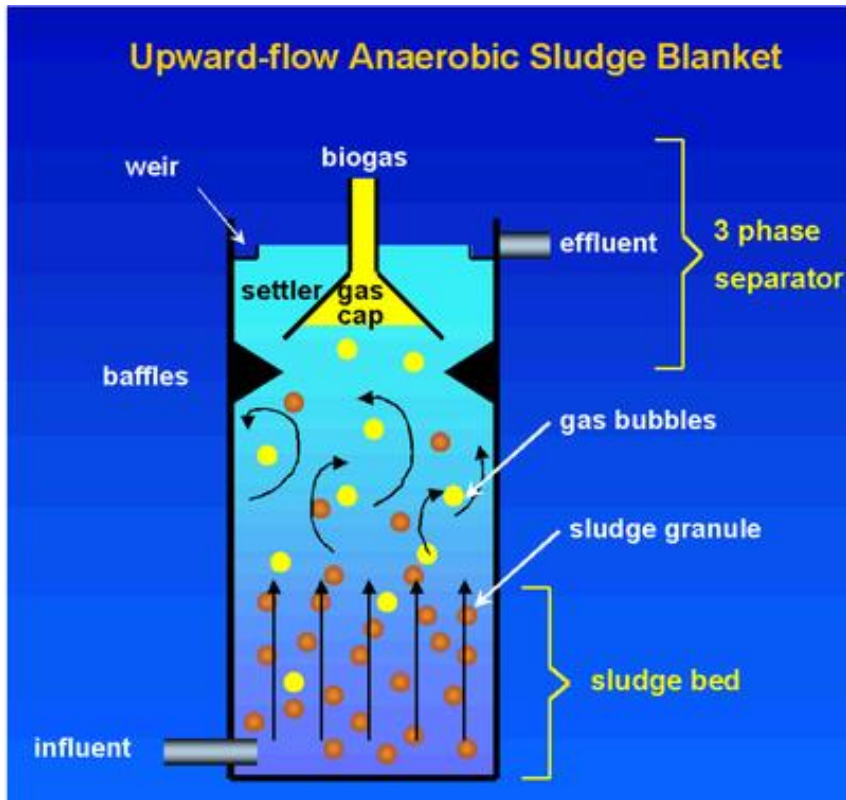
○ Anaeróbio + Aeróbio



Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor

PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

○ Reatores UASB



PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

○ UASB + Filtro biológico

