Escola de Engenharia de Lorena – EEL/USP

TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS (LOB1225)

Aula 6

Níveis, operações e processos de tratamento de esgotos

Prof. MSc. Paulo Ricardo Amador Mendes

Níveis do tratamento dos esgotos

- Estudos de concepção:
  - Impacto ambiental do lançamento no corpo receptor;
  - Objetivos do tratamento (principais constituintes a serem removidos);
  - Nível do tratamento;
  - Eficiências de remoção desejadas.

Níveis do tratamento dos esgotos

Tratamento preliminar
- Remoção de sólidos grosseiros/areia/gordura
- Gradeamento/Caixa de areia/Caixa de gordura

Tratamento primário
- Remoção de sólidos sedimentáveis
- Decantador primário

Mecanismos Físicos

Tratamento secundário
- Remoção de matéria orgânica
- Reatores/Lagoas

Mecanismos Biológicos

Tratamento terciário
- Remoção de nutrientes/orgânicos complexos/desinfecção
- Unidades específicas

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

Níveis do tratamento dos esgotos

- Nível de tratamento da ETE:
  - Maior nível existente
    - Remoção sólidos grosseiros (tratamento preliminar)
    - Sólidos sedimentáveis (decantadores primários – tratamento primário)
    - Matéria orgânica (processos biológicos – tratamento secundário)
  - **ETE em nível secundário**

Níveis do tratamento dos esgotos

- Tratamento preliminar
  - Sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia);
- Tratamento primário
  - Sólidos em suspensão sedimentáveis;
  - DBO em suspensão.

Níveis do tratamento dos esgotos

- Tratamento secundário
  - DBO em suspensão (caso não haja tratamento primário);
  - DBO em suspensão finamente particulada (caso haja tratamento primário – sólidos não sedimentáveis);
  - DBO solúvel (sólidos dissolvidos).

Níveis do tratamento dos esgotos

- Tratamento terciário
  - Nutrientes;
  - Organismos patogênicos;
  - Compostos não biodegradáveis;
  - Metais potencialmente perigosos;
  - Sólidos inorgânicos dissolvidos;
  - Sólidos em suspensão remanescente.

Níveis do tratamento dos esgotos

Item	Nível do tratamento		
	Preliminar	**Primário**	**Secundário**
Poluentes removidos	• Sólidos grosseiros	• Sólidos sedimentáveis • DBO em suspensão	• Sólidos não sedimentáveis; • DBO em suspensão fina; • DBO solúvel; • Eventualmente nutrientes; • Eventualmente patógenos.
Eficiências de remoção	-	• SS: 60-70% • DBO: 25-35% • Coliformes: 30-40%	• DBO: 60-98% • Coliformes: 60-99%
Mecanismo de tratamento preponderante	• Físico	• Físico	• Biológico
Cumpre padrões de lançamento usuais	• Não	• Não	• Usualmente sim
Aplicação	• Montante de elevatória • Etapa inicial de todos os processos de tratamento	• Tratamento parcial • Etapa intermediária de tratamento mais completo	• Tratamento mais completo (para a remoção de matéria orgânica).

Níveis do tratamento dos esgotos

- Eficiência de remoção de poluentes no tratamento ou etapa do mesmo:

$$E = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \times 100$$

  - E = Eficiência de remoção (%);
  - C_0 = Concentração afluente do poluente (mg/L);
  - C_e = Concentração efluente do poluente (mg/L).

Níveis do tratamento dos esgotos

- Eficiência global de remoção (várias etapa ou unidades de tratamento em série):

$$E = 1 - [(1 - E_1) \times (1 - E_2) \times (1 - E_3) \times \ldots (1 - E_n)]$$

  - E = Eficiência global de remoção (%);
  - E_1, E_2, E_3, E_n = Eficiência de remoção nas etapas 1, 2, 3, ... n

Operações, processos e sistemas de tratamento de esgotos

- Operações unitárias (físicos): Predominância de aplicação de forças físicas;
  - Ex.: Gradeamento, mistura, floculação, sedimentação, flotação, filtração).

- Processos unitários (químicos): Métodos de tratamento nos quais a remoção ou conversão de contaminantes ocorre pela adição de **produtos químicos** ou devido a **reações químicas.**
  - Ex.: Precipitação, adsorção, desinfecção.

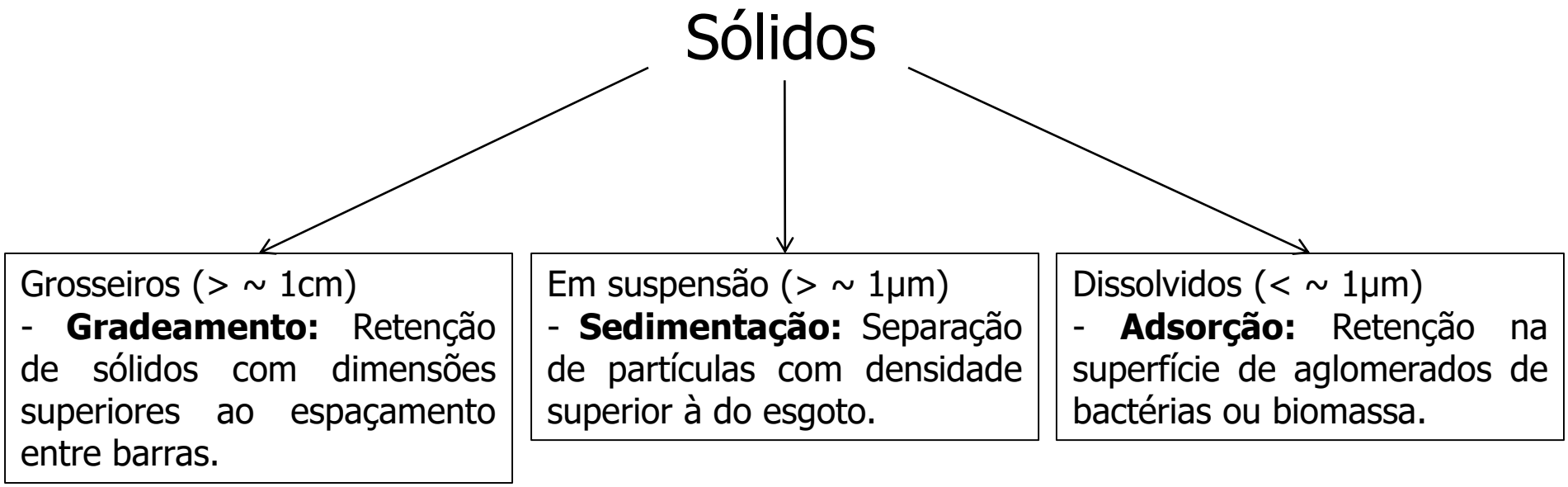
Operações, processos e sistemas de tratamento de esgotos

- Processos unitários (biológicos): Método de tratamento nos quais a remoção de contaminantes ocorre por meio de **atividade biológica.**
  - Ex.: Remoção da matéria orgânica carbonácea, nitrificação, desnitrificação.

Dependendo do processo a ser utilizado, vários mecanismos podem atuam separada ou simultaneamente na remoção de poluentes.

Operações, processos e sistemas de tratamento de esgotos

- Principais mecanismos de remoção de poluentes no tratamento de esgotos:



Operações, processos e sistemas de tratamento de esgotos

- Principais mecanismos de remoção de poluentes no tratamento de esgotos:

Matéria orgânica

DBO em suspensão (> ~ 1µm)
- **Sedimentação:** Separação de partículas com densidade superior à do esgoto;
- **Adsorção:** Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa.
- **Hidrólise:** Conversão de DBO suspensa em solúvel, por meio de enzimas, possibilitando sua estabilização.
- **Estabilização:** Utilização pelas bactérias como alimento, com conversão a gases, água e outros compostos inertes

DBO solúvel (< ~ 1µm)
-**Adsorção:** Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa.
- **Estabilização:** Utilização pelas bactérias como alimento, com conversão a gases, água e outros compostos inertes

Operações, processos e sistemas de tratamento de esgotos

- Principais mecanismos de remoção de poluentes no tratamento de esgotos:

Patógenos

Maiores dimensões (cistos de protozoários e ovos de helmintos)
- **Sedimentação:** Separação de patógenos de maiores dimensões e com densidade superior à do esgoto;
- **Filtração:** Retenção dos patógenos em um meio filtrante de granulometria adequada.

Menores dimensões (bactérias e vírus)
- **Condições ambientais adversas:** Temperatura, pH, falta de aliemento, competição com outras espécies.
- **Radiação ultravioleta:** Radiação do sol ou artificial.
- **Desinfecção:** Adição de um agente desinfectante, como o cloro.

Operações, processos e sistemas de tratamento de esgotos

- Principais mecanismos de remoção de poluentes no tratamento de esgotos:

Nitrogênio

Nitrogênio orgânico
- **Amonificação:** Conversão do nitrogênio orgânico à amônia.

Amônia
- **Nitrificação:** Conversão da amônia a nitrito, e deste a nitrato, por meio de bactérias nitrificantes.
- **Assimilação bacteriana:** Incorporação da amônia na composição das células bacterianas.
- **Dessorção:** Escape de amônia livre para a atmosfera, em condições de elevado pH.
- **Cloração ao break-point:** Conversão da amônia a cloramina, através da presença de cloro.

Nitrato
- **Desnitrificação:** Conversão do nitrato a nitrogênio gasoso, o qual escapa para a atmosfera em condições anóxicas.

Operações, processos e sistemas de tratamento de esgotos

- Principais mecanismos de remoção de poluentes no tratamento de esgotos:

Fósforo

Fosfato
- **Desfosfatação:** Assimilação em excesso do fósforo do meio líquido por organismos acumuladores de fosfato, que ocorre ao se alternar condições aeróbias e anaeróbias.
- **Precipitação:** Precipitação do fósforo em condições de pH elevado, ou através da adição de sais metálicos.
- **Filtração:** Retenção da biomassa rica em fósforo, após a etapa de desfosfatação biológica.

Operações, processos e sistemas de tratamento de esgotos

- Sólidos em suspensão:
  - Gradeamento;
  - Remoção de areia;
  - Sedimentação;
  - Disposição no solo.
- Matéria orgânica biodegradável:
  - Lagoas de estabilização e variações;
  - Lodos ativados e variações;
  - Reatores anaeróbios com biofilmes;
  - Tratamento anaeróbio;
  - Disposição no solo.

Operações, processos e sistemas de tratamento de esgotos

- Organismos patogênicos:
  - Lagoas de maturação;
  - Disposição no solo;
  - Desinfecção com produtos químicos;
  - Desinfecção com radiação ultravioleta;
  - Processos com membranas.
- Nitrogênio:
  - Nitrificação e desnitrificação biológica;
  - Lagoas de maturação e de alta taxa;
  - Disposição no solo;
  - Processos físico-químicos.

Operações, processos e sistemas de tratamento de esgotos

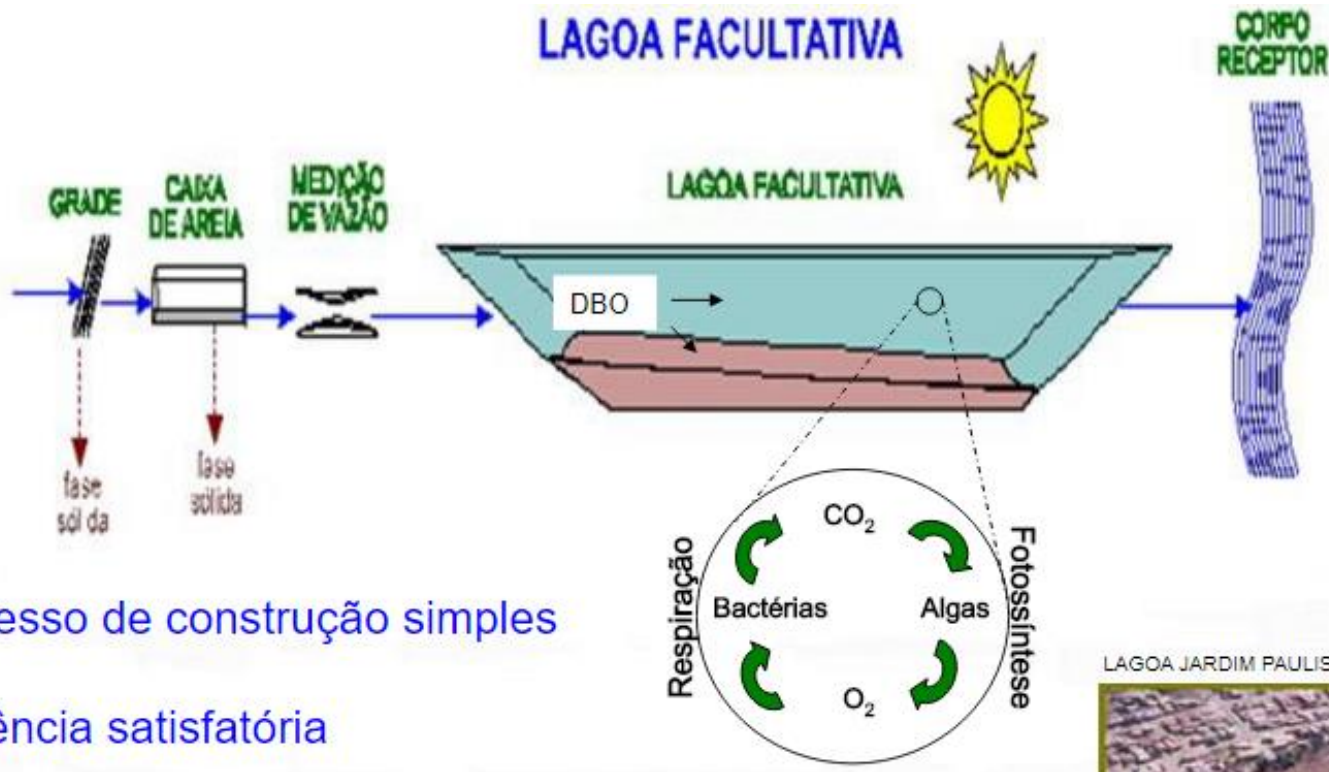
- Fósforo:
  - Remoção biológica;
  - Lagoas de maturação e de alta taxa;
  - Processos físico-químicos.

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Lagoas de estabilização

- Lagoa facultativa
  - Esgotos fluem continuamente em lagoas especialmente construídas para o tratamento;
  - O líquido permanece por vários dias;
  - DBO solúvel e particulada são estabilizadas aerobicamente por bactérias dispersas no líquido;
  - DBO suspensa – sedimenta e é estabilizada anaerobicamente no fundo da lagoa;
  - Oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas (fotossíntese).

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário

Lagoas de estabilização

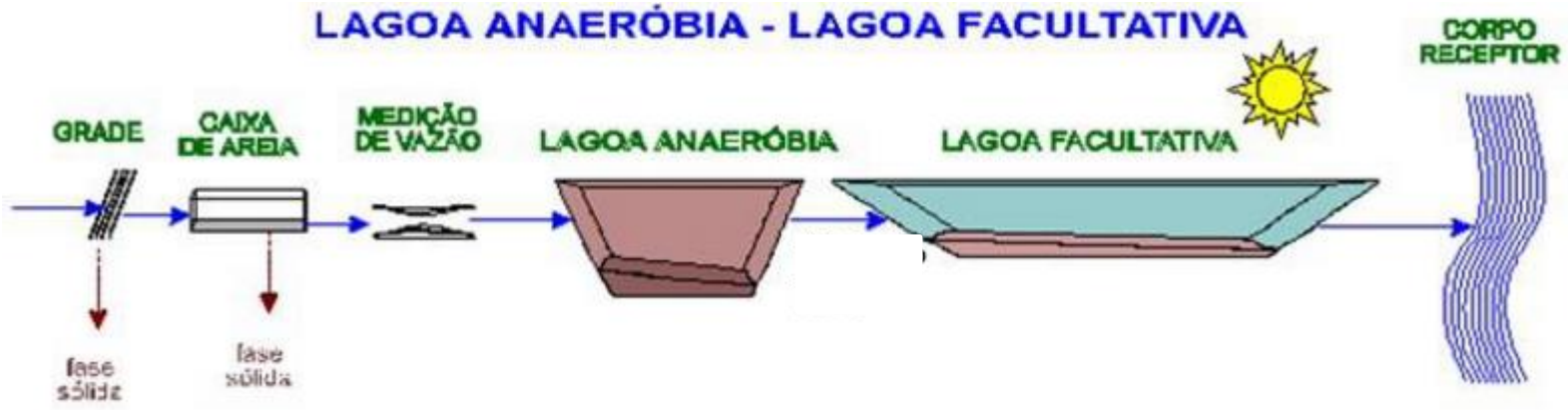


- Processo de construção simples
- Eficiência satisfatória
- Necessita de grandes áreas
- Tempo de detenção típico 20dias

LAGOA JARDIM PAULISTANO I Franca-SP

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Lagoas de estabilização

- Lagoa anaeróbia-lagoa facultativa
  - Remoção de DBO: 50-65% (lagoa anaeróbia – mais profunda e com menor volume);
  - DBO remanescente é removida na lagoa facultativa;
  - O sistema ocupa área inferior a da lagoa facultativa única (cerca de 1/3).



Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Lagoas de estabilização

- Lagoa aerada facultativa
  - Remoção de DBO é semelhante a lagoa facultativa;
  - Oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos;
  - Dimensões menores que a lagoa facultativa;
  - Tempo de detenção típico: 5 a 10 dias.

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Lagoas de estabilização

- Lagoa aerada de mistura completa-lagoa de decantação
  - Energia introduzida por unidade de volume é elevada, fazendo com que os sólidos fiquem dispersos no meio líquido;
  - Maior concentração de bactérias aumenta a eficiência de remoção de DBO;
  - Volume inferior a uma lagoa aerada facultativa;
  - Necessidade de lagoa de decantação a jusante – remoção dos elevados teores de sólidos presentes;
    - Lodo da lagoa de decantação – remoção em poucos anos.

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Lagoas de estabilização

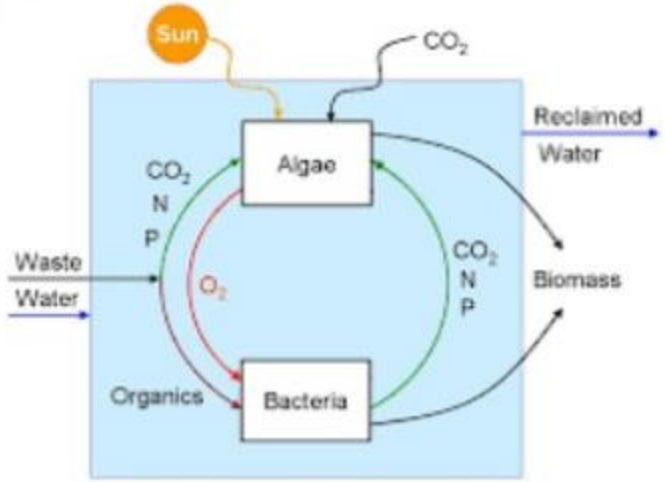
- Lagoa aerada de mistura completa-lagoa de decantação
  - Tempo de detenção típico: 2 a 4 dias.

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Lagoas de estabilização

- Lagoas de alta taxa
  - Maximizar a produção de algas (condições aeróbias);
  - Profundidades reduzidas – penetração de energia luminosa em toda a massa líquida;
  - Alta atividade fotossintética – alta concentração de oxigênio dissolvido e elevado pH;
  - Aumento na taxa de remoção de patógenos e na remoção de nutrientes;
  - Elevada carga orgânica por área superficial e moderada agitação na lagoa (equipamento mecânico de baixa potência).

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Lagoas de estabilização

- Lagoas de alta taxa



Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Lagoas de estabilização

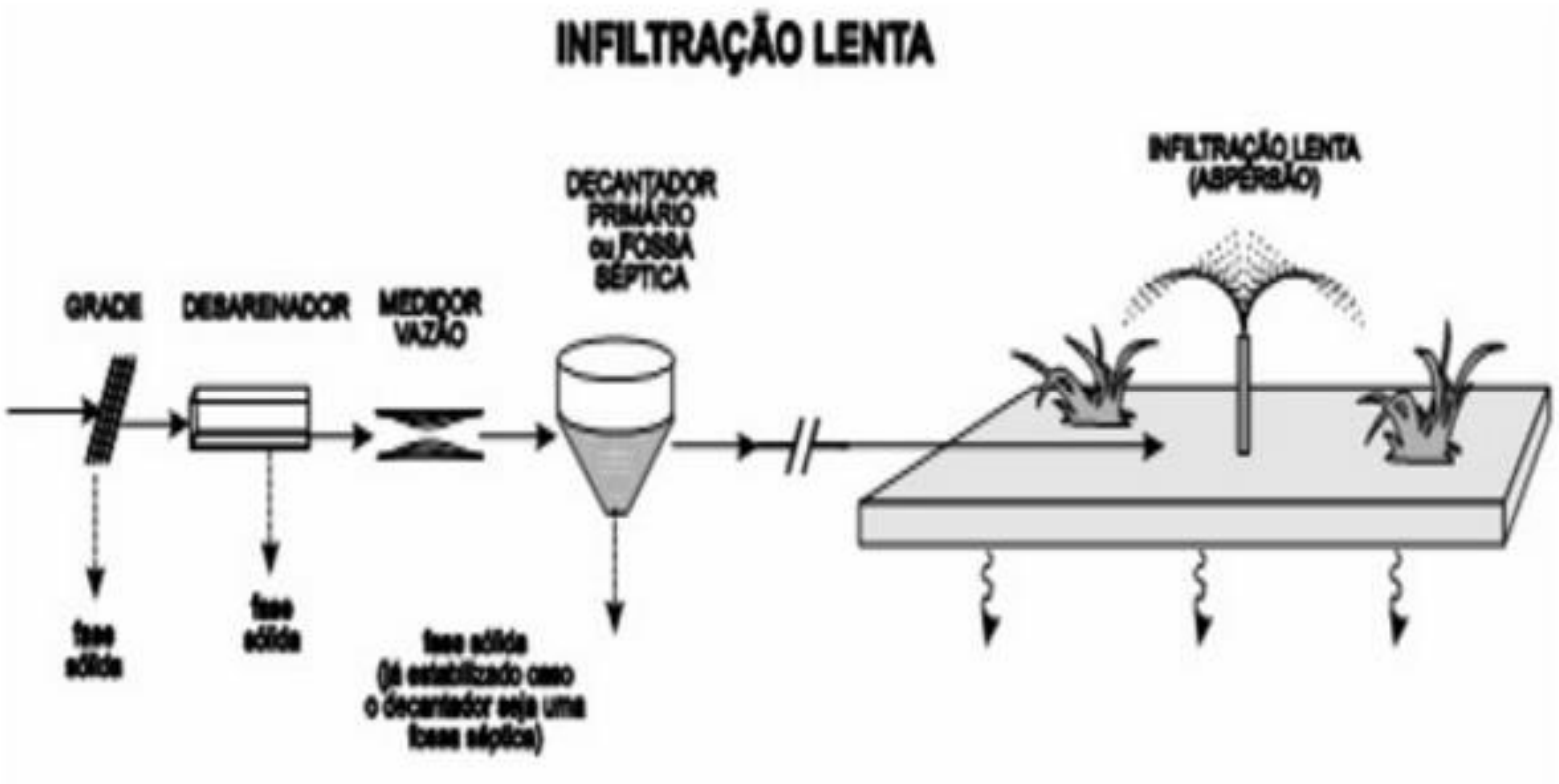
- Lagoas de maturação
  - Remoção de organismos patogênicos;
  - Predomínio de condições ambientais adversas (radiação UV, pH elevado, elevado OD, temperatura mais baixa que do trato intestinal humano, falta de nutrientes e predação por outros organismos);
  - Pós-tratamento de processos que removem DBO;
  - Elevada eficiência na remoção de coliformes.

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Disposição no solo

- Infiltração lenta
  - Esgotos são aplicados no solo – água e nutrientes para as plantas;
  - Líquido – Parte evapora, parte percola no solo e a maioria é absorvida pelas plantas;
  - Taxas de aplicação no terreno são bem baixas;
  - Métodos de aplicação – Aspersão, alagamento e da crista e vale;
  - Fertirrigação.

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Disposição no solo

- Infiltração lenta

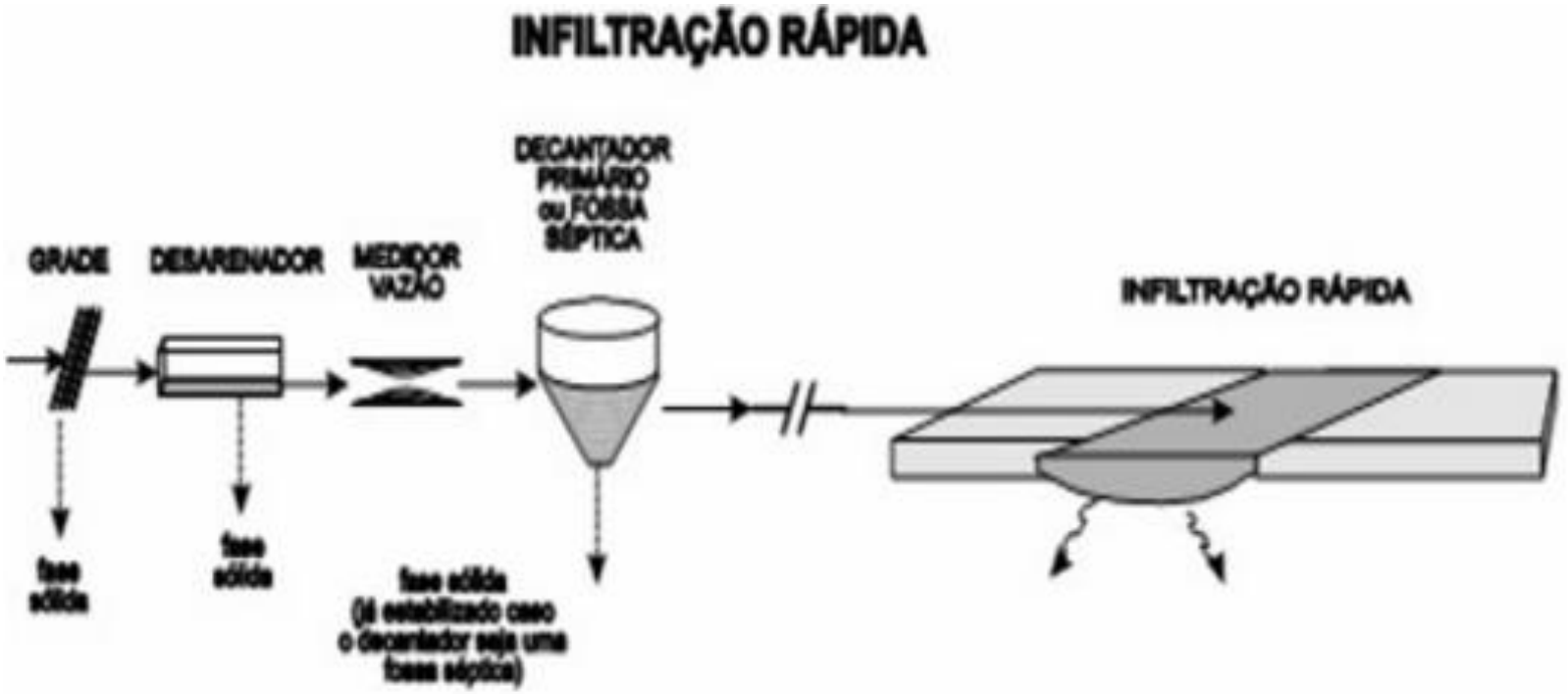


Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Disposição no solo

- Infiltração rápida
  - Esgotos sã dispostos em bacias rasas;
  - Líquido passa pelo fundo poroso e percola pelo solo;
  - Menores perdas por evaporação, com maiores taxas de aplicação;
  - Aplicação intermitente – descanso para o solo;
  - Tipos: Percolação para a água subterrânea, recuperação por drenagem subsuperficial e recuperação por poços freáticos.

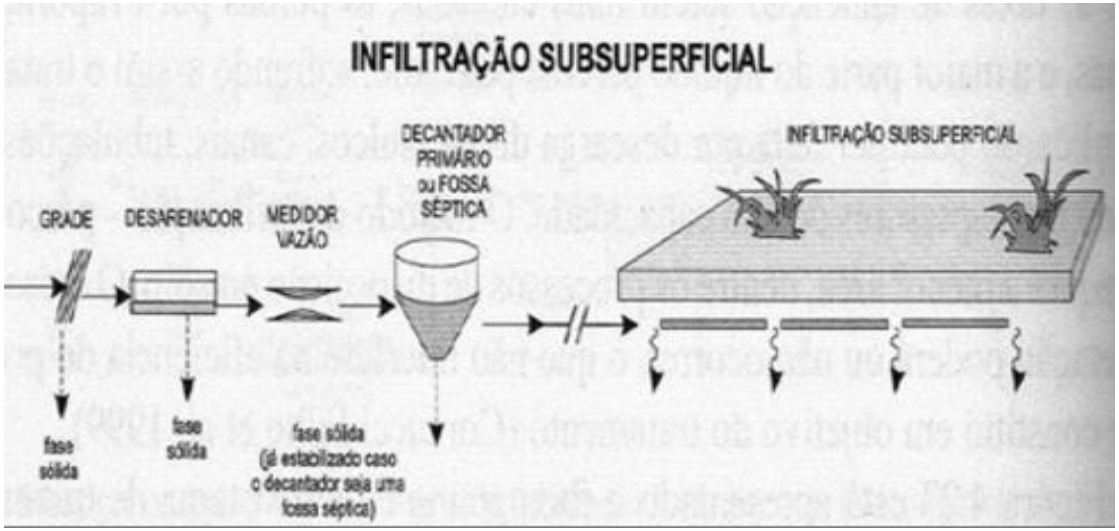
Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Disposição no solo

- Infiltração rápida



Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Disposição no solo

- Infiltração subsuperficial
  - Esgoto pré-decantado é aplicado abaixo do nível do solo;
  - Locais de infiltração são preenchidos com meio poroso, no qual ocorre o tratamento;
  - Tipos: Valas de infiltração e sumidouros.

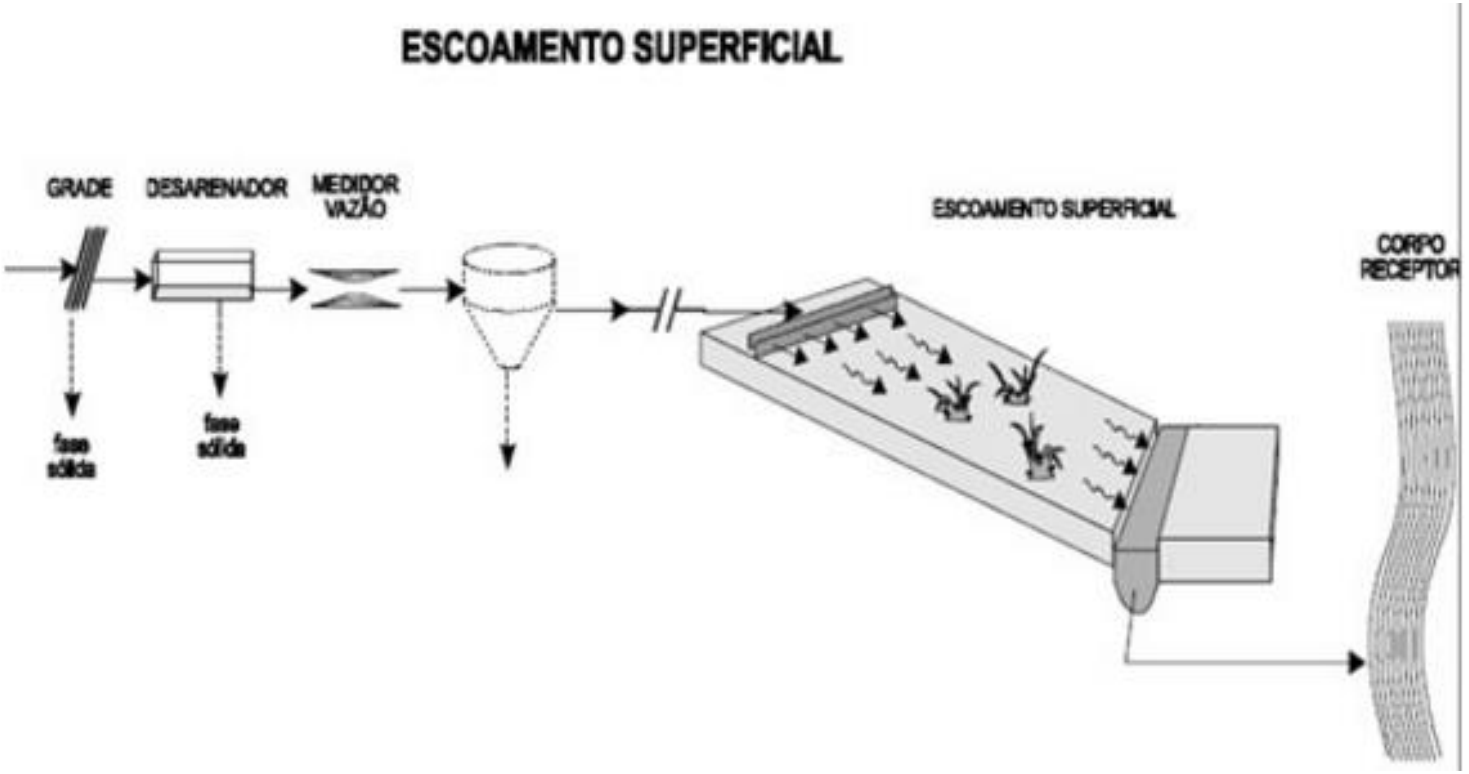


Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Disposição no solo

- Escoamento superficial
  - Esgotos distribuídos na parte superior do terreno com certa declividade;
  - Escoam até serem coletados em valas na parte inferior;
  - Aplicação intermitente;
  - Tipos de aplicação:
    - aspersores de alta pressão;
    - aspersores de baixa pressão;
    - tubulações ou canais de distribuição com aberturas intervaladas.

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Disposição no solo

- Escoamento superficial



Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Disposição no solo

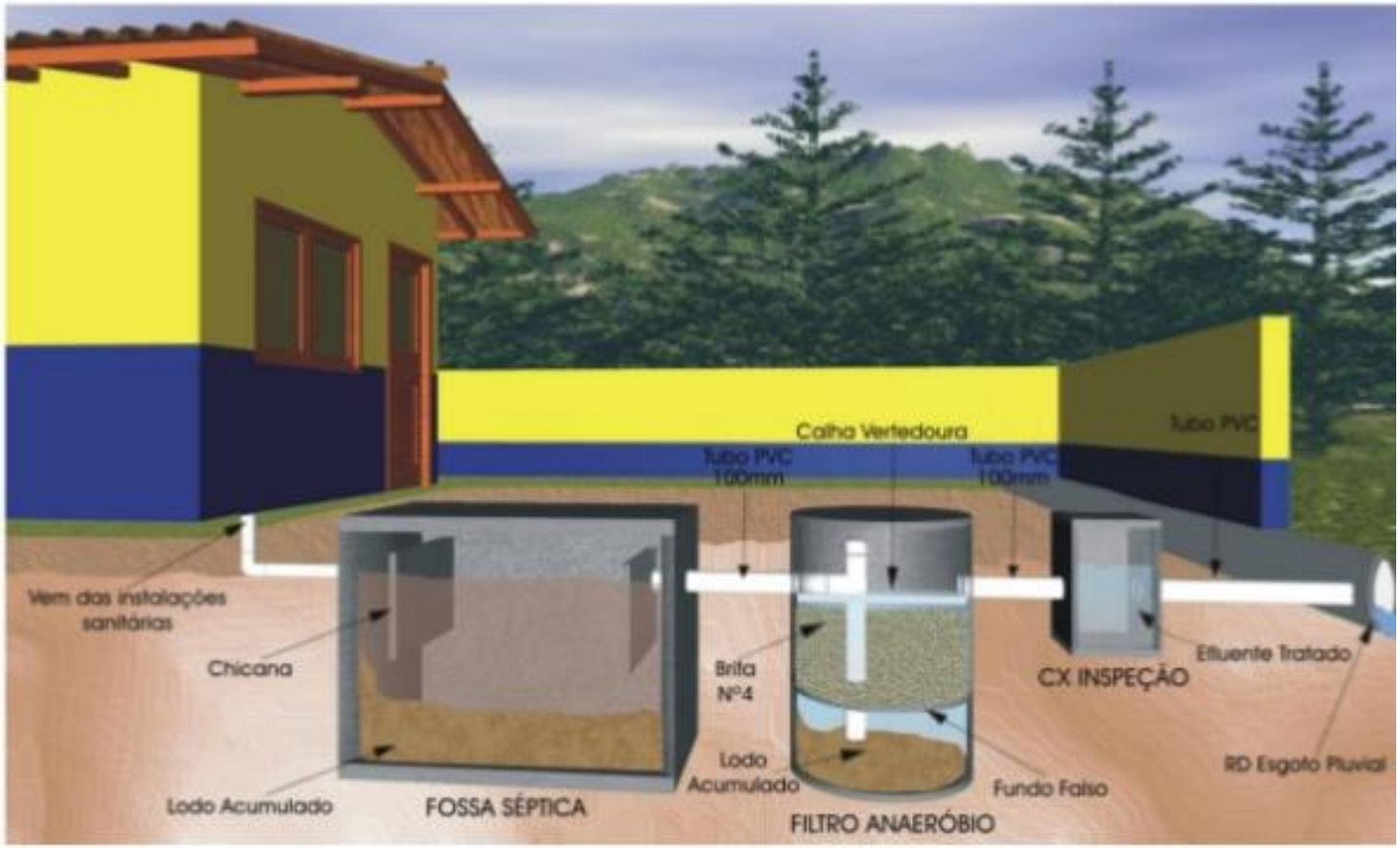
- Terras úmidas construídas
  - Banhados artificiais ou alagados artificiais;
  - Lagoas ou canais rasos que abrigam plantas aquáticas;
  - Fluxo superficial (NA acima do nível do solo) ou subsuperficial (NA abaixo do nível do solo);
  - Mecanismos atuantes no sistema raiz-solo: físicos, químicos e biológicos.

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Sistemas anaeróbios

- Filtro anaeróbio
  - DBO – Convertida anaerobicamente por bactérias aderidas a um meio suporte (usualmente pedras) no reator;
  - Trabalha submerso e em fluxo ascendente;
  - Requer decantação primária (frequentemente fossas sépticas);
  - Produção baixa de lodo;
  - Lodo já sai estabilizado.

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Sistemas anaeróbios

- Filtro anaeróbio



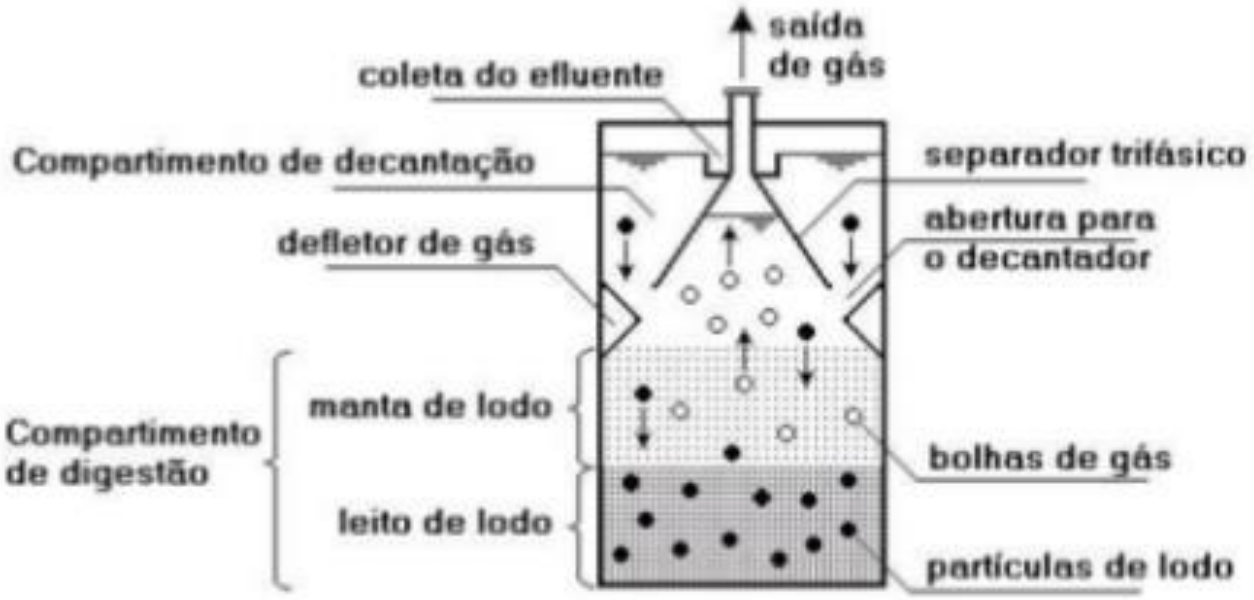
Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Sistemas anaeróbios

- Reator anaeróbio de manta lodo e fluxo ascendente (UASB)
  - UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket ;*
  - DBO – Conversão anaeróbia pelas bactérias dispersas no reator;
  - Fluxo de líquido ascendente;
  - Parte superior: zona de sedimentação (saída do efluente clarificado e retorno dos sólidos ao sistema);
  - Formação de metano;
  - Dispensa decantação primária, produção de lodo é baixa e este já sai adensado e estabilizado.

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Sistemas anaeróbios

- Reator anaeróbio de manta lodo e fluxo ascendente (UASB)

- UASB



Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Sistemas anaeróbios

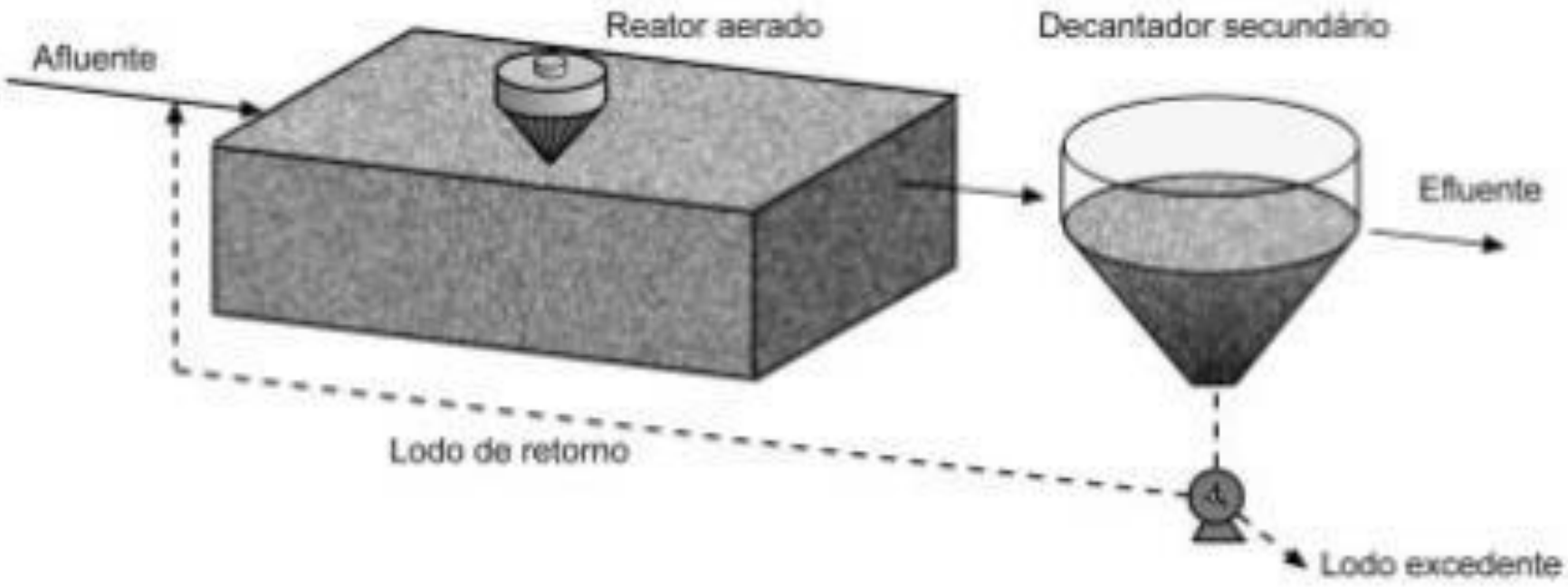
- Reator anaeróbio pós-tratamento
  - Reatores UASB – não produzem efluentes dentro da maioria dos padrões de lançamento;
  - Necessidade de pós-tratamento:
    - Biológico (aeróbio ou anaeróbio);
    - Físico-químico (adição de coagulantes).
  - Todos os processos de tratamento de esgoto podem ser usados como pós-tratamento;
  - Eficiência global: mesma que só o pós-tratamento fosse aplicado no esgoto bruto;

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Lodos ativados

- Lodo ativado convencional
  - Etapa biológica: 2 unidades (reator biológico e decantador secundário);
  - Elevada concentração de biomassa no reator (recirculação do fundo do decantador secundário);
  - Biomassa fica em contato por longos períodos com o líquido – elevada eficiência remoção DBO;
  - Necessidade de remoção de biomassa produzida;
  - Aeração: Mecânica ou ar difuso;
  - Decantador primário: remoção de sólidos sedimentáveis (montante do reator biológico).

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Lodos ativados

- Lodo ativado convencional



Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Lodos ativados

- Lodo ativado por aeração prolongada
  - Similar ao convencional, no entanto a biomassa permanece mais tempo no sistema (reatores biológicos maiores);
  - Menos DBO disponível, competição entre as bactérias;
  - Lodo excedente já sai estabilizado;
  - Não são usualmente incluídas unidades de decantação primária.

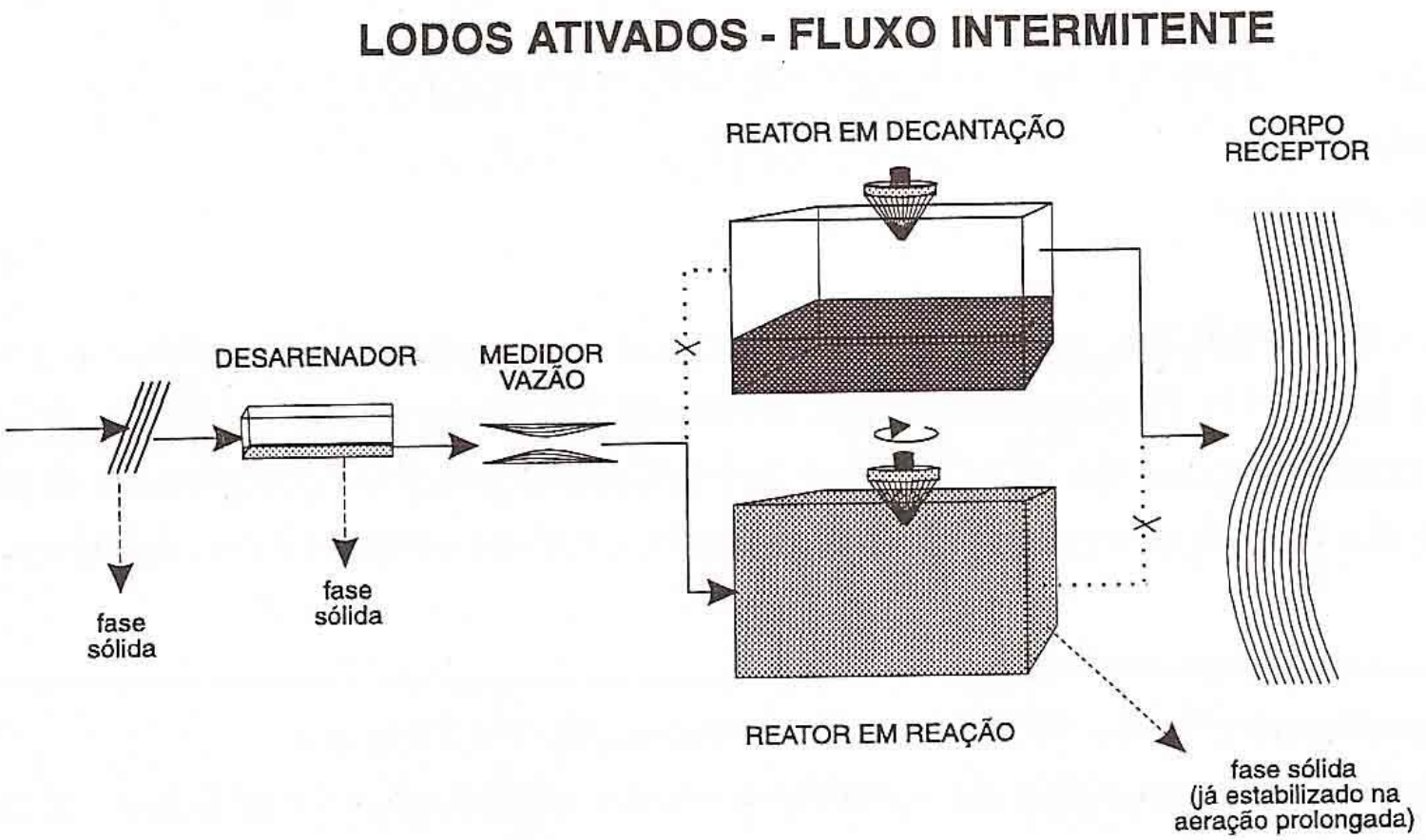
Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário

Lodos ativados

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Lodos ativados

- Lodo ativado de fluxo intermitente
  - Operação do sistema é intermitente;
  - Mesmo tanque em fases diferentes: Etapas de reação (aeradores ligados) e sedimentação (aeradores desligados);
  - Aeradores desligados: sedimentação dos sólidos e retirada do efluente (sobrenadante);
  - Religamento dos aeradores: ressuspensão dos sólidos (não há necessidade de elevatórias de recirculação);
  - Modo de operação: convencional ou por aeração prolongada.

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Lodos ativados



Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Lodos ativados

- Lodo ativado com remoção biológica de nitrogênio
  - Reator biológico: incorporação de zona anóxica (ausência de oxigênio e presença de nitratos);
  - Zona anóxica: montante e/ou jusante da zona aerada;
  - Nitratos formados (nitrificação na zona aeróbia) – respiração de microrganismos facultativos na zona anóxica, com redução a nitrogênio gasoso (escapa para a atmosfera).

Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Lodos ativados

- Lodo ativado com remoção biológica de nitrogênio e fósforo
  - Incorporação no reator biológico de zona anaeróbia (extremidade de montante), além das zonas aeróbias e anóxicas;
  - Recirculação interna da biomassa: contato com zonas anaeróbias e aeróbias;
  - Absorção de fósforo do meio líquido por um certo grupo de microrganismos, em quantidades superiores àquelas que o microrganismo necessita para seu metabolismo;
  - Retirada de lodo excedente: retirada de fósforo.

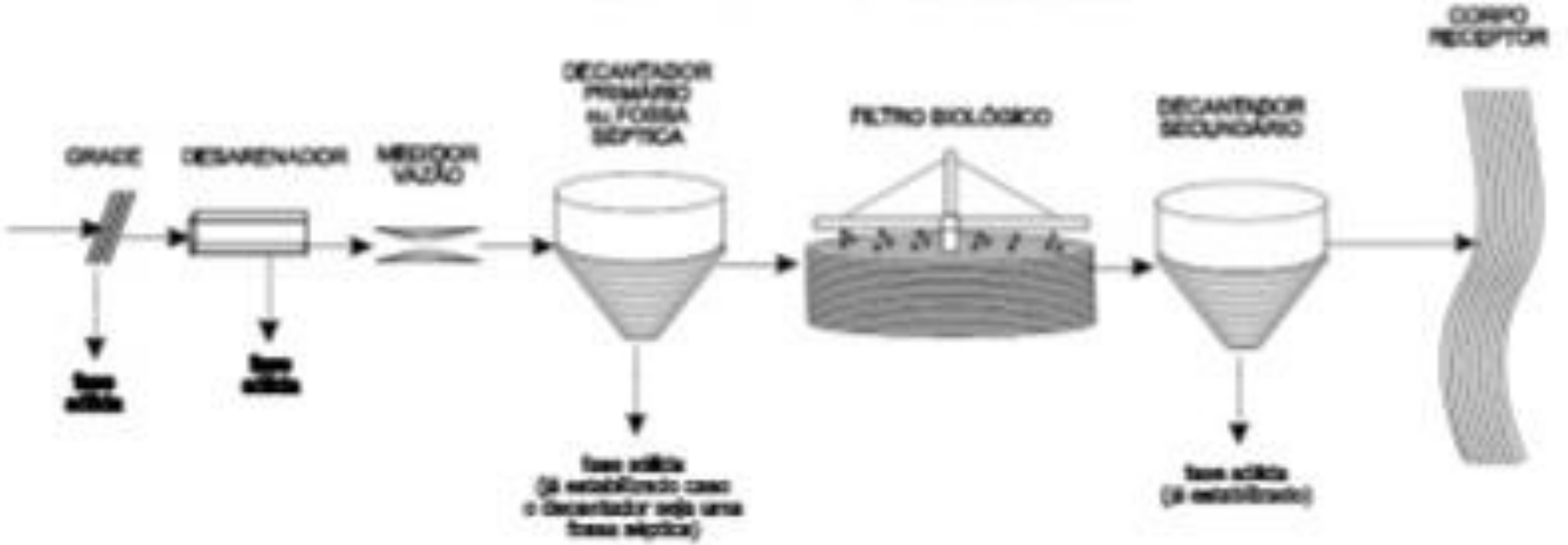
Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Reatores aeróbios com biofilmes

- Filtro de baixa carga
  - DBO – Estabilizada anaerobicamente por bactérias aderidas a um meio suporte (pedras ou material plástico);
  - Esgoto aplicado na superfície do tanque (distribuidores rotativos);
  - Líquido – percola pelo tanque e sai pelo fundo;
  - Matéria orgânica – retida e estabilizada pelas bactérias;
  - Espaços vazios permitem circulação de ar;
  - Baixa carga: pouca disponibilidade de DBO para as bactérias (autodigestão, já saindo estabilizadas).

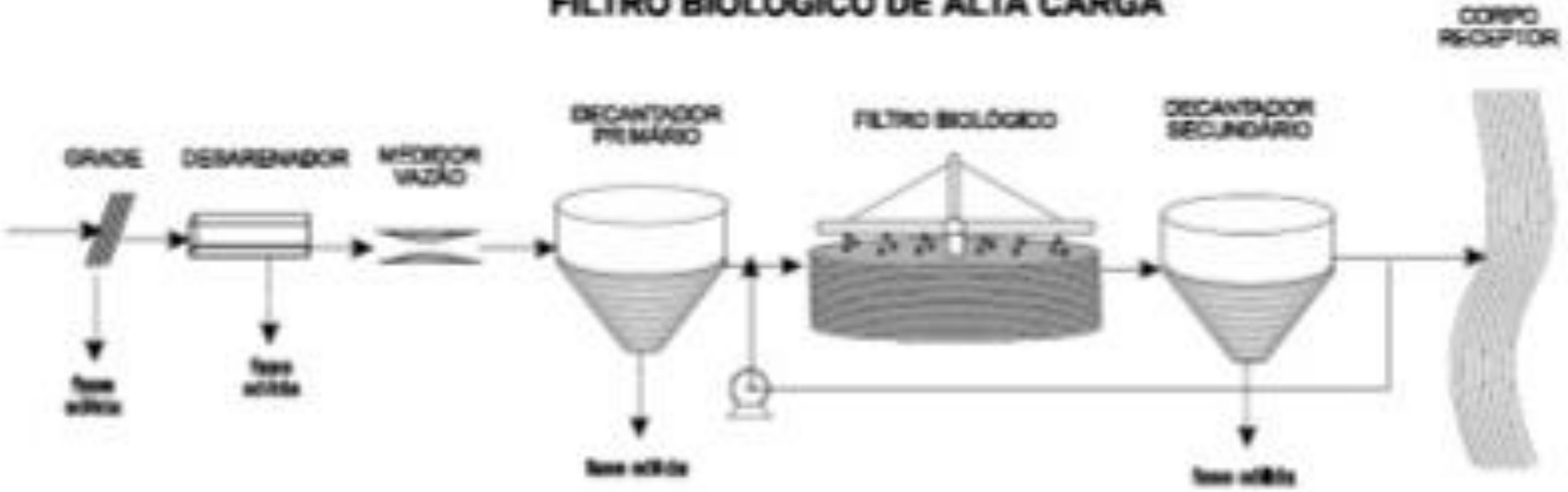
Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Reatores aeróbios com biofilmes

- Filtro de baixa carga
  - Placas de bactérias desprendidas são removidas pelo decantador secundário;
  - Necessita de decantação primária.
- Filtro de alta carga
  - Similar ao de baixa carga, diferindo na DBO disponível para as bactérias (maior quantidade);
  - Lodo necessita de estabilização;
  - Efluente do decantador secundário é recirculado para o filtro (diluir o afluente e manter a carga hidráulica homogênea.

FILTRO BIOLÓGICO DE BAIXA CARGA



FILTRO BIOLÓGICO DE ALTA CARGA

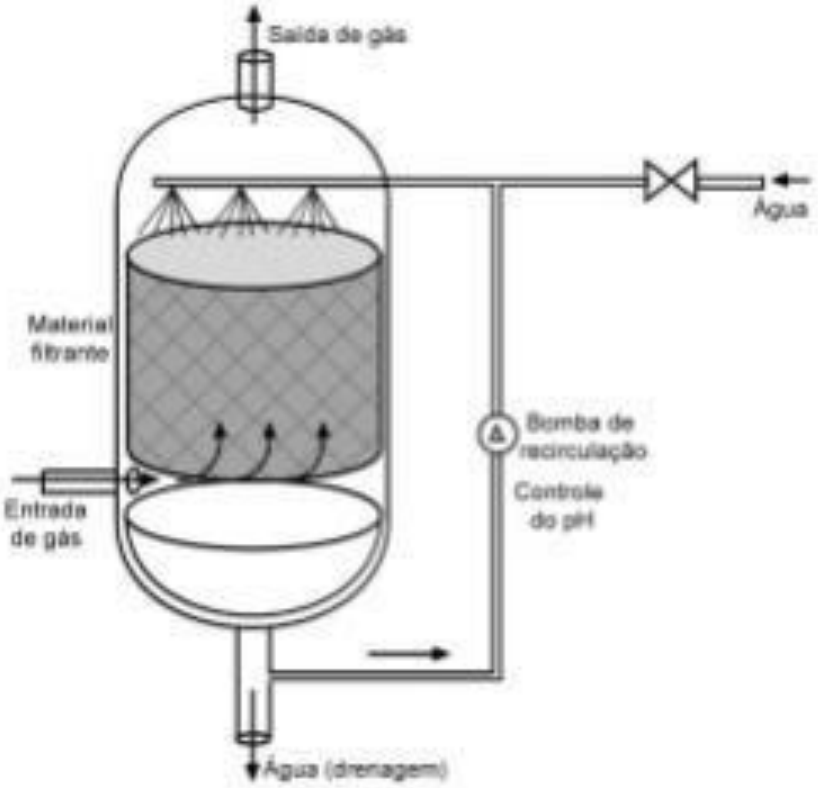


Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Reatores aeróbios com biofilmes

- Biofiltro aerado submerso
  - Tanque preenchido com material poroso (usualmente submerso);
  - Fluxo permanente: esgoto e ar (ascendente);
  - Biofiltros com meios granulares: remoção de compostos orgânicos solúveis e particulados do esgoto;
    - Meio suporte para os microrganismos;
    - Meio filtrante;
  - Lavagens periódicas para eliminação do excesso de biomassa acumulada.

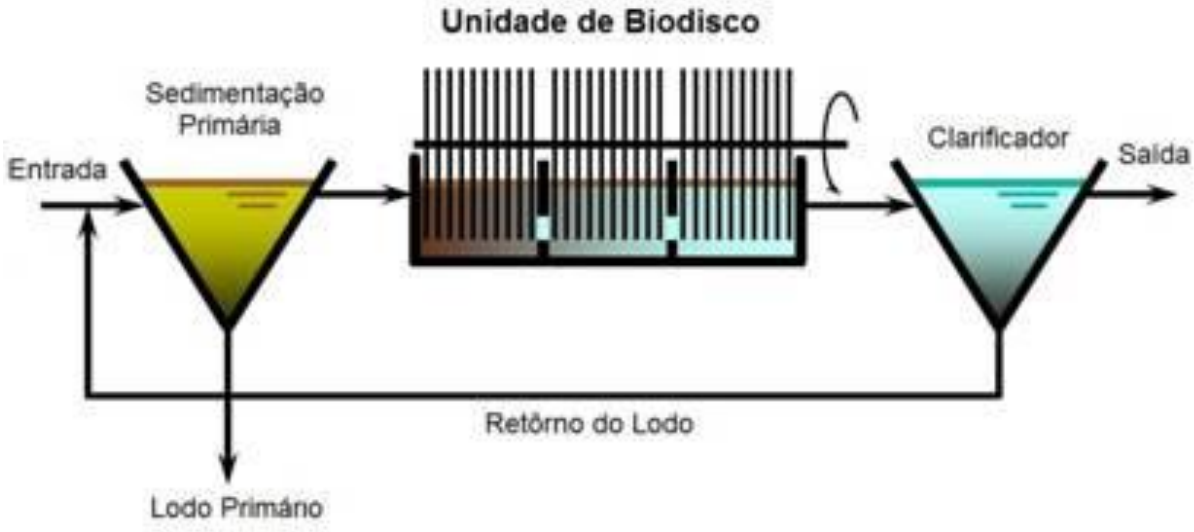
Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Reatores aeróbios com biofilmes

- Biofiltro aerado submerso



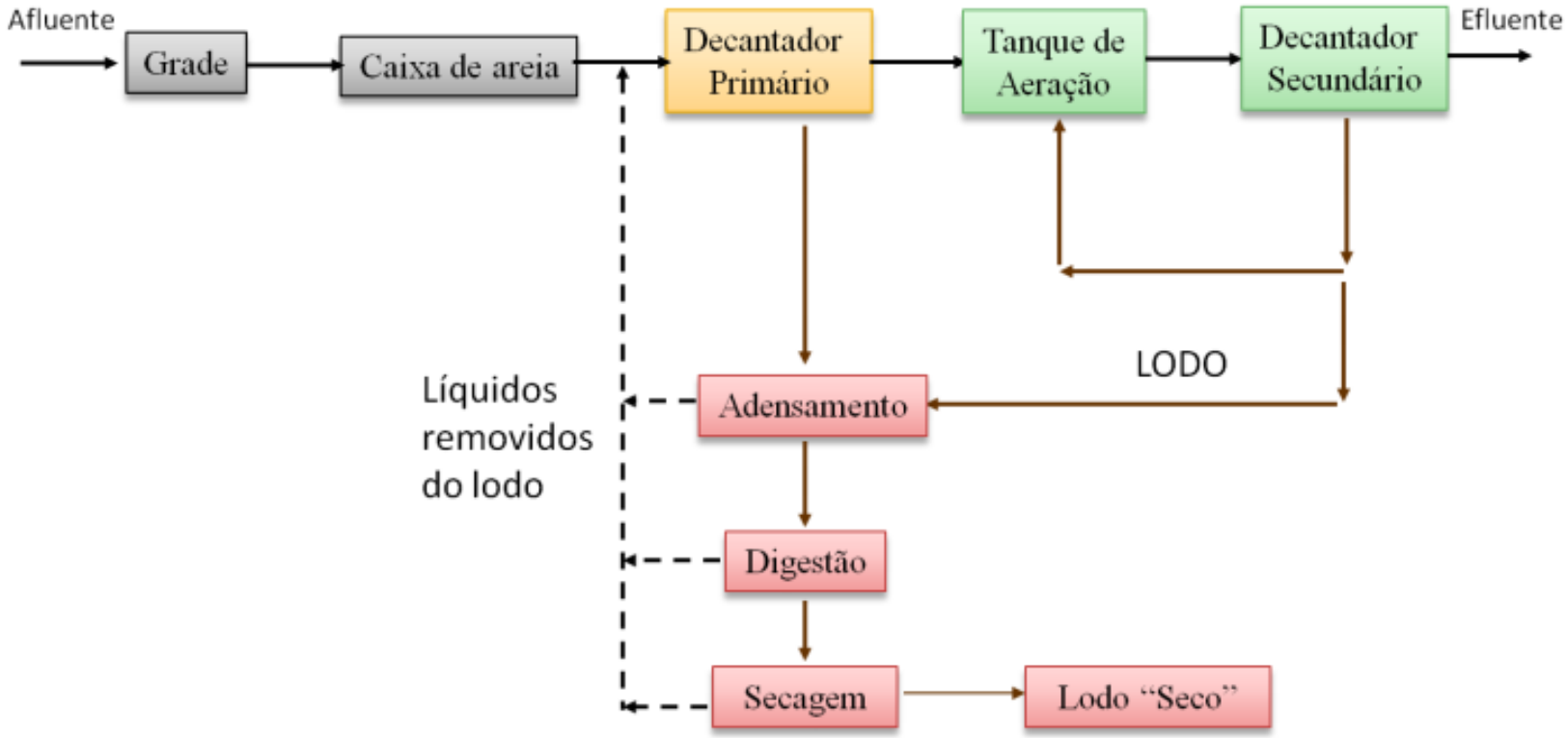
Principais sistemas de tratamento de esgoto em nível secundário
Reatores aeróbios com biofilmes

- Biodisco
  - Crescimento da biomassa a um meio suporte (discos);
  - Discos parcialmente imersos, giram, ora expondo a superfície ao líquido, ora ao ar.



Concepções usuais de ETEs

ETE BASEADA EM SISTEMA DE LODOS ATIVADOS CONVENCIONAL



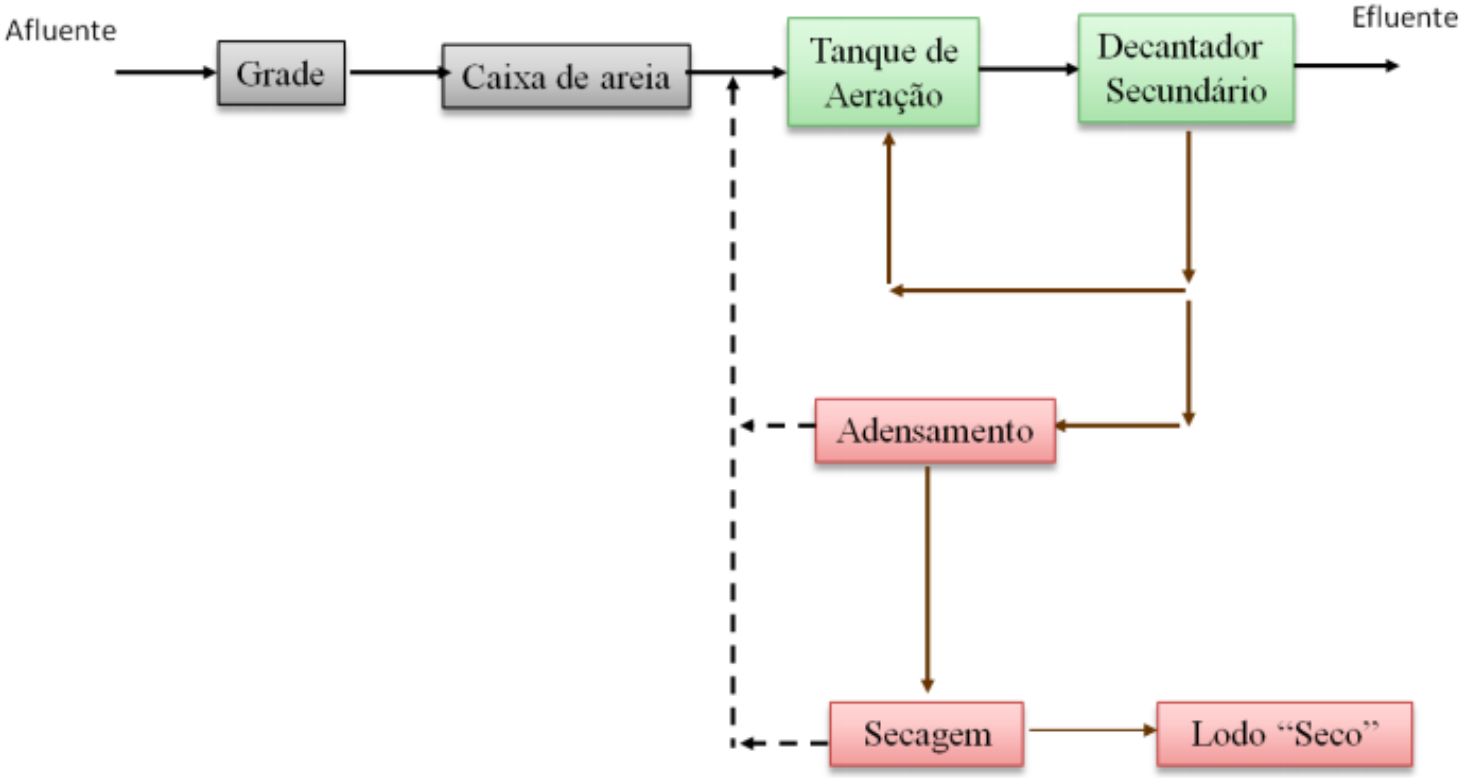
Concepções usuais de ETEs

ETE BASEADA EM SISTEMA DE LODOS ATIVADOS CONVENCIONAL

ETE Barueri: 9,5 m^3/s

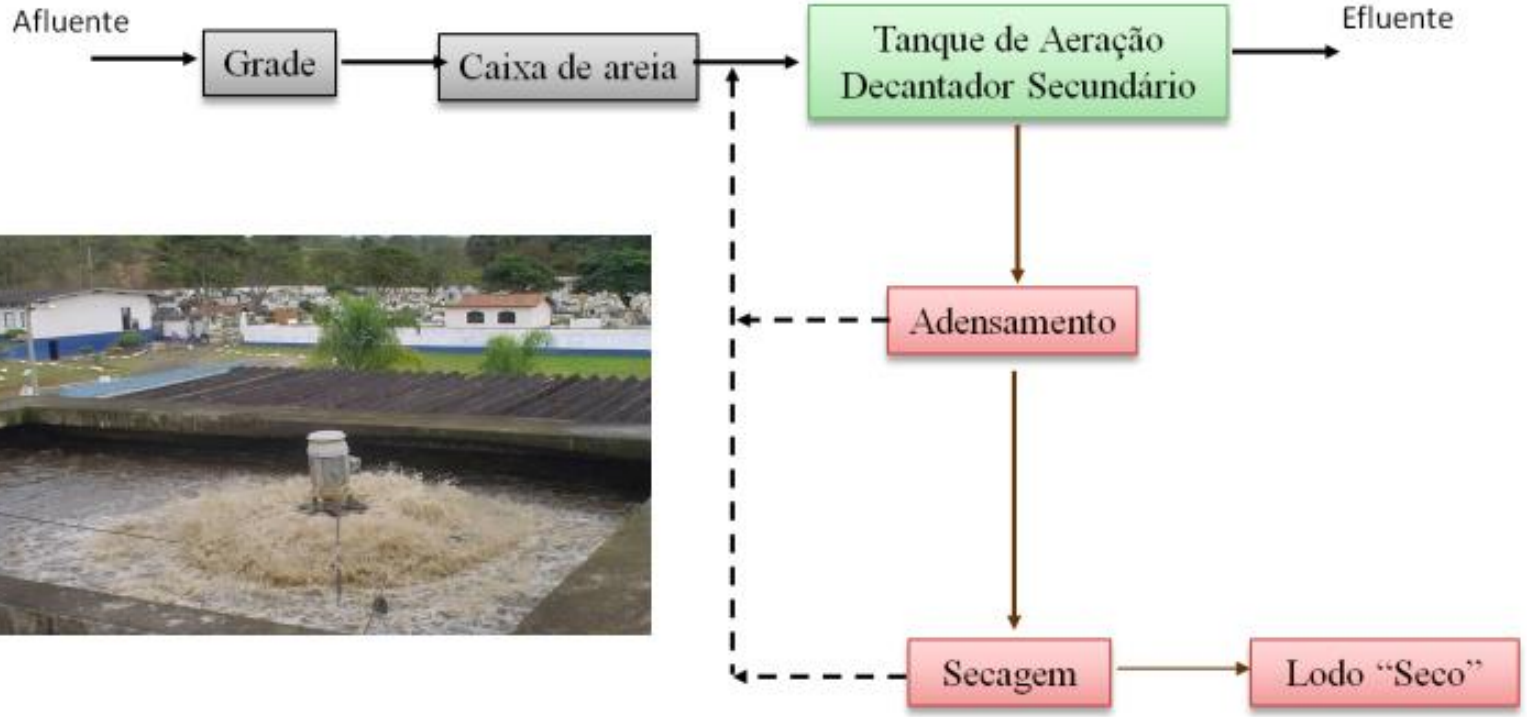
Concepções usuais de ETEs

ETE BASEADA EM SISTEMA DE LODOS ATIVADOS COM AERAÇÃO PROLONGADA



Concepções usuais de ETEs

ETE BASEADA EM SISTEMA DE LODOS ATIVADOS COM AERAÇÃO PROLONGADA EM BATELADA

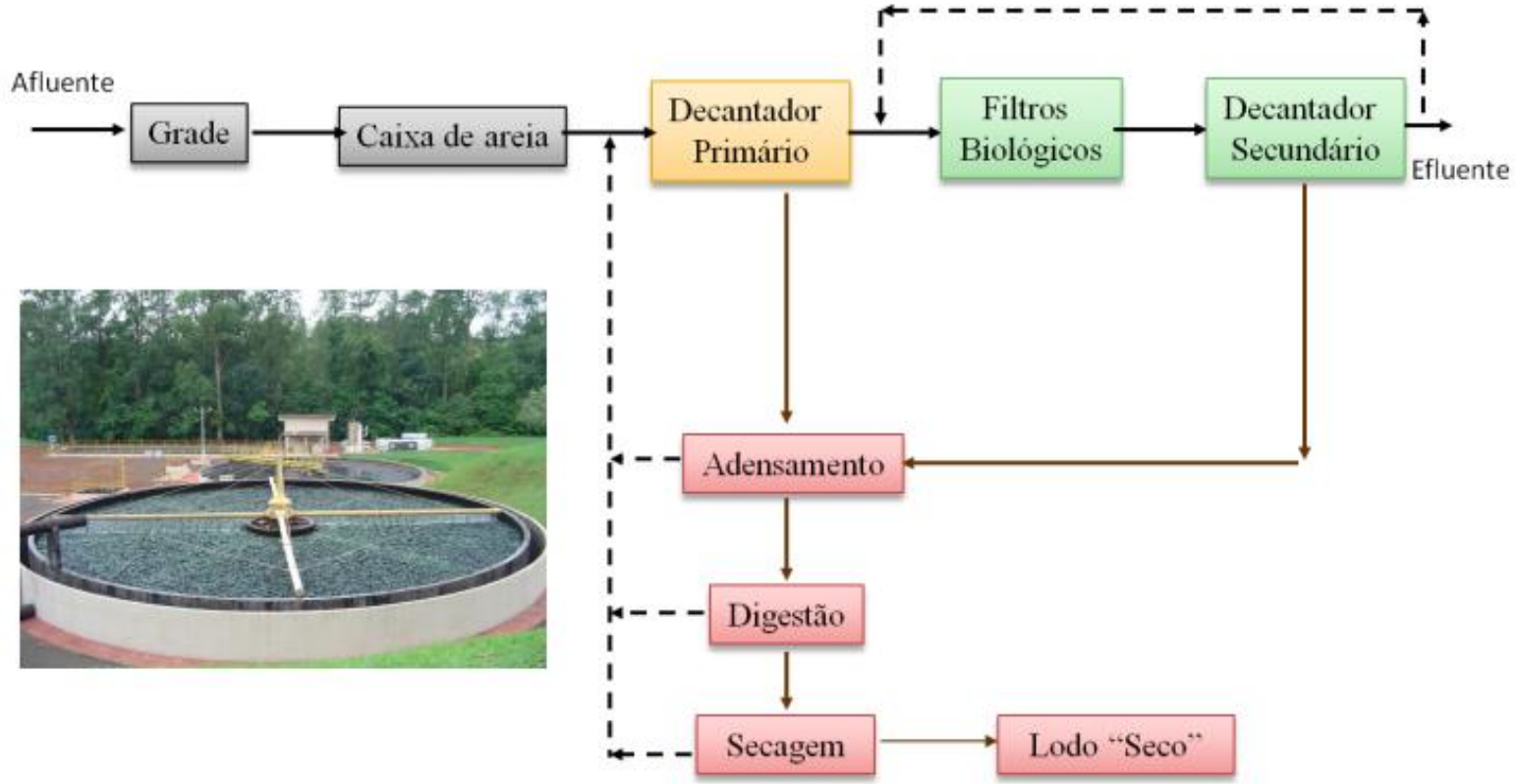


Concepções usuais de ETEs

LAGOAS AERADAS SEGUIDAS DE LAGOAS DE DECANTAÇÃO

Concepções usuais de ETEs

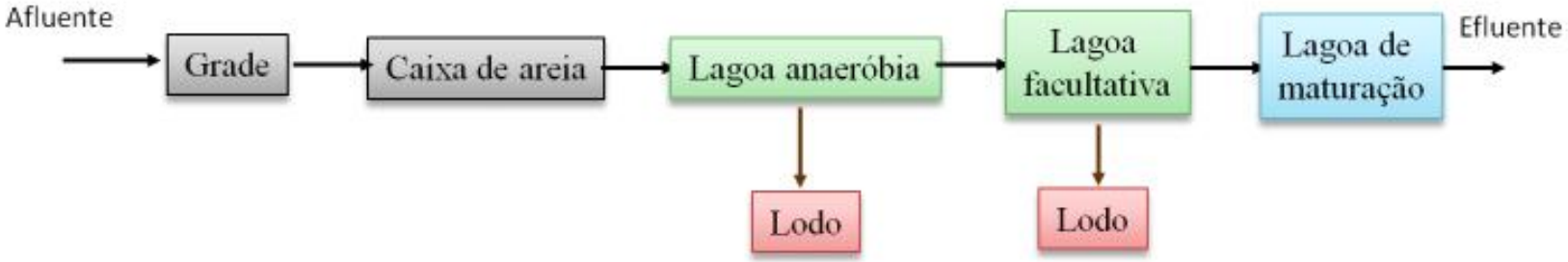
FILTROS BIOLÓGICOS AERÓBIOS



Concepções usuais de ETEs

LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Sistema australiano

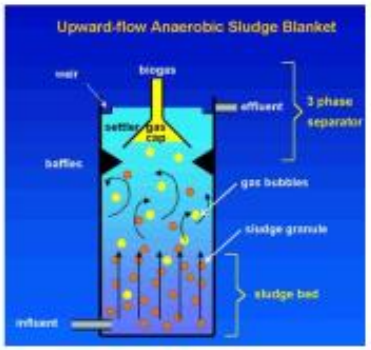


Concepções usuais de ETEs

ANAERÓBIO + AERÓBIO

Grade → Caixa de areia → UASB →

- Lodos ativados
- Lagoas de estabilização
- Lagoas aeradas
- Filtro Biológico Convencional
- Filtro Biológico Aerado Submerso
- Processos físico-químicos



Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor

Bibliografia

- JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos,** 4ª ed. Rio de Janeiro: Segrac, 2005.

- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos,** 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.