

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental

Componente curricular: Saneamento Básico e Saúde Pública

Aula 4

Professor Antônio Ruas

- 1. Créditos: 60**
- 2. Carga horária semanal: 4**
- 3. Semestre: 2º**
- 4. Água, análise.**
- 5. Introdução ao estudo dos esgotos.**

- **I. Conceitos básicos.**

- **Água potável:**

- Aquela livre de todas características indesejáveis, incluindo patógenos, sabor, odores, cor, minerais, toxinas, material radioativo, microrganismos, óleos, gases, etc. Pode conter minerais como cálcio e magnésio e gases como dióxido de carbono. A categoria potável, indica isenta de qualquer patógeno ou fatores de intoxicação ou rejeição.

- **Água fresca:**

- Aquela que não é salgada ou não é marinha.

- **Poluição:**

- Qualquer fator que faz a água não potável.

• I. Conceitos básicos.

- O saneamento básico inadequado associa-se a inúmeras doenças de veiculação hídrica.
- As doenças de veiculação hídrica, são as doenças transmitidas pela água de consumo sem potabilidade por contaminação e falta de tratamento adequado.
- Por exemplo:
 - Hepatite A, salmoneloses, shigelose, cólera, giardíase, criptosporidiose, balantidiose, toxoplasmose, cisticercose, etc.
 - Novos agentes parasitários como *Cryptosporidium* spp. Vem sendo muito mais pesquisados.
 - Bactérias produtoras de toxinas como as cianobactérias são muito importantes.

MANUAL PRÁTICO DE ANÁLISE DE ÁGUA



FUNASA

MANUAL DE BOLSO

Exame bacteriológico da água	7
– Coliformes termotolerantes	7
– Bactérias heterotróficas	7
Análises físico-química da água	35
– Titulométricas	35
– Colorimétricas	35

- **II. Indicadores microbiológicos: coliformes fecais.**
- A água potável é isenta de microorganismos patogênicos e de bactérias indicadoras de contaminação fecal.
- Os indicadores de contaminação fecal, tradicionalmente aceitos, pertencem a um grupo de bactérias denominadas coliformes. O principal representante desse grupo de bactérias chama-se *Escherichia coli*. Outros gêneros são *Enterococcus*, *Citrobacter*, *Klebsiella*. A família é Enterobacteriaceae
- Avalia-se a presença de coliformes totais e coliformes termotolerantes, no caso, visando *E. coli*.
- Outra possibilidade é a contagem de bactérias heterotróficas em geral. A contagem padrão de bactérias não deve exceder a 500 Unidades Formadoras de Colônias por 1 mililitro de amostra (500/UFC/ml)

- **II. Indicadores microbiológicos: coliformes fecais.**
- Bactérias do grupo coliforme são bacilos Gram negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos que fermentam a lactose a 35-37°C, produzindo ácido, gás e aldeído em um prazo de 24-48 horas. São oxidase-negativos e não formam esporos.
- Os coliformes totais são expressos em NMP/100 ml, que significa número mais provável de organismos / 100 ml.
- Justificativa:
 - - estão presentes nas fezes de animais de sangue quente, inclusive os seres humanos;
 - - sua presença na água possui uma relação direta com o grau de contaminação fecal. Permanecem mais tempo na água do que outras bactérias, sendo menos exigentes, mas não se multiplicam; são mais resistentes aos saneantes;

■ II. Indicadores microbiológicos: coliformes fecais.

- - são facilmente detectáveis e quantificáveis;
- - O grupo dos coliformes é prático em termos de descrição: são G-, anaeróbicos facultativos, pequenos bacilos que fermentam lactose para produzir ácido e gás em 48 h a 35°C.
- - O subgrupo onde encontra-se *E. coli* é termotolerante. A incubação é feita a 44,5°C. Esta distinção é importante porque exclui os coliformes ambientais.
- - Mesmo no subgrupo de *E. coli*, é preciso diferenciar-se de outra bactéria, *Klebsiella*, por técnica específica.

- II. Indicadores microbiológicos: coliformes fecais.
- O uso de coliformes fecais como indicadores da qualidade da água remonta a 1892 e foi proposto por Shardingner
- Os indicadores são principalmente a contagem padrão e densidade.
- A contagem padrão é expressa em NMP. Na primeira fase, conclui-se o NMP para coliformes totais. Há o teste presuntivo (meio LST) e o teste confirmativo (meio BGLB).
- Depois procede-se o NMP para coliformes fecais (termotolerantes). Trata-se de um teste confirmativo com meio EC, incubado agora a 44-45°C.

■

- II. Indicadores microbiológicos: coliformes fecais.
- A seguir, pode-se confirmar que trata-se de *E. coli* com meio de cultura específico. Uma alça do tubo EC positivo é inoculada em placa de Petry com meio L-BEM, 18-24 h a 35°C. Cinco colônias suspeitas são novamente submetidas a inoculação e preparo de Gram. Pode resultar num NMP específico de *E. coli*.
- Algumas vezes é usada a simples presença de *E. coli*, por método colorimétrico.
- A FUNASA descreve metodologia baseada em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- Estudar as etapas da detecção no manual da FUNASA.
-

■ III. Análises físico-químicas da água. 3.1 Alcalinidade total

- A alcalinidade total de uma água é dada pelo somatório das diferentes formas de alcalinidade existentes. É a concentração de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos, expressa em termos de Carbonato de Cálcio. A alcalinidade mede a capacidade da água em neutralizar os ácidos.
- A medida da alcalinidade é importante durante o processo de tratamento de água. É em função do seu teor que se estabelece a dosagem dos produtos químicos utilizados. Normalmente as águas superficiais possuem alcalinidade natural em concentração suficiente para reagir com o sulfato de alumínio nos processos de tratamento.

■

- III. Análises físico-químicas da água. **3.1 Alcalinidade total**
-
- Quando é baixa ou inexistente há a necessidade de se provocar uma alcalinidade artificial com aplicação de substâncias alcalinas tal como cal hidratada ou Barrilha (carbonato de sódio) para que o objetivo seja alcançado.
- Quando é elevada, procede-se ao contrário, acidificando-se a água até que se obtenha um teor de alcalinidade suficiente para reagir com o sulfato de alumínio ou outro produto utilizado no tratamento da água.
- Estude no manual esta avaliação.

■ 3.2 Gás carbônico livre

- O gás carbônico livre existente em águas superficiais normalmente está em concentração menor do que 10 mg/L, enquanto que em águas subterrâneas pode existir em maior concentração.
- O gás carbônico contido na água pode contribuir significativamente para a corrosão das estruturas metálicas e de materiais à base de cimento (tubos de fibro-cimento) de um sistema de abastecimento de água e por essa razão o seu teor deve ser conhecido e controlado.
- Estude no manual esta avaliação.

■ 3.3 Cloretos

- Geralmente os cloretos estão presentes em águas brutas e tratadas em concentrações que podem variar de pequenos traços até centenas de mg/l. Ocorrem na forma de cloretos de sódio, cálcio e magnésio. A água do mar possui concentração elevada de cloretos que está em torno de 26.000 mg/l.
- Concentrações altas de cloretos podem restringir o uso da água em razão do sabor que eles conferem e pelo efeito laxativo que eles podem provocar. A portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece o teor de 250 mg/l como o valor máximo permitido para água potável. Os métodos convencionais de tratamento de água não removem cloretos. A sua remoção pode ser feita por desmineralização (deionização) ou evaporação.
- Estude no manual esta avaliação.

■ 3.4 Dureza total

- A dureza total é calculada como sendo a soma das concentrações de íons cálcio e magnésio na água, expressos como carbonato de cálcio. A dureza de uma água pode ser temporária ou permanente.
- A dureza temporária, também chamada de dureza de carbonatos, é causada pela presença de bicarbonatos de cálcio e magnésio. Esse tipo de dureza resiste à ação dos sabões e provoca incrustações. É denominada de temporária porque os bicarbonatos, pela ação do calor, se decompõem em gás carbônico, água e carbonatos insolúveis que se precipitam.

■

■ 3.4 Dureza total

- A dureza permanente, também chamada de dureza de não carbonatos, é devida à presença de sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio, resiste também à ação dos sabões, mas não produz incrustações por serem seus sais muito solúveis
- na água. Não se decompõe pela ação do calor.
- A portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece para dureza o teor de 500 mg/L em termos de CaCO_3 como o valor máximo permitido para água potável.
- Estude no manual esta avaliação.

▪ 3.5 pH

- O termo pH representa a concentração de íons hidrogênio em uma solução. Na água, este fator é muito importante nos processos de tratamento. Na rotina dos laboratórios das estações de tratamento é medido e ajustado sempre que necessário para melhorar o processo de coagulação/floculação da água e também o controle da desinfecção. Utiliza-se potenciômetros e colorímetros.
- O valor do pH varia de 0 a 14. Abaixo de 7 a água é considerada ácida e acima de 7, alcalina. Água com pH 7 é neutra. A Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde recomenda que o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 no sistema de distribuição.
- Estude no manual esta avaliação.

■ 3.6 Cloro residual livre

- É medido por colorimetria. O cloro é o produto químico base na desinfecção da água.
- A portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde determina a obrigatoriedade de se manter em qualquer ponto na rede de distribuição a concentração mínima de cloro residual livre de 0,2 mg/l. Recomenda, ainda, que o teor máximo seja de 2,0 mg/l de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema de abastecimento.
- Os principais produtos utilizados são: hipoclorito de cálcio, cal clorada, hipoclorito de sódio e cloro gasoso.
- Estude no manual esta avaliação.

■ 3.7 Cor

- A cor da água é proveniente da matéria orgânica como, por exemplo, substâncias húmicas, taninos e também por metais como o ferro e o manganês e resíduos industriais fortemente coloridos.
- A cor, em sistemas públicos de abastecimento de água, é indesejável. A sua medida é importante visto que água de cor elevada provoca rejeição por parte do consumidor e o leva a procurar outras fontes de suprimento muitas vezes inseguras.
- A Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece para cor aparente o Valor Máximo Permitido de 15 (quinze) uH como padrão de aceitação para consumo humano.
- Estude no manual esta avaliação.

3.8 Alumínio

O teste de alumínio é indicado para estações de tratamento onde o sulfato de alumínio é usado como coagulante. A dosagem incorreta desse coagulante é denotada pela quantidade significativa de alumínio que persiste na água tratada.

O hidróxido de alumínio $Al(OH)_3$ formado na reação é anfótero. Sua ionização se processa em pH ácido ou básico, segundo as equações:



■

■ 3.8 Alumínio

- Nas duas formas ele pode se solubilizar e atravessar os decantadores e filtros. A solubilização acontece com a correção do pH. Quando o pH ótimo de floculação não está correto, o teor de alumínio da água tratada aumenta.
- A Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece que o padrão de aceitação para consumo humano é de 0,2 mg/l.
- Estude no manual esta avaliação.

■ 3.9 Turbidez

- A turbidez da água é devida à presença de materiais sólidos em suspensão, que reduzem a sua transparência. Pode ser provocada também pela presença de algas, plâncton, matéria orgânica e muitas outras substâncias como o zinco, ferro, manganês e areia, resultantes do processo natural de erosão ou de despejos domésticos e industriais.
- A turbidez tem sua importância no processo de tratamento da água. Água com turbidez elevada e dependendo de sua natureza, forma flocos pesados que decantam mais rapidamente do que água com baixa turbidez. Também tem suas desvantagens como no caso da desinfecção que pode ser
 - dificultada pela proteção que pode dar aos microorganismos no
 - contato direto com os desinfetantes. É um indicador sanitário e padrão de aceitação da água de consumo humano.

■ 3.9 Turbidez

- A Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece que o Valor Máximo Permitido é de 1,0 uT para água subterrânea desinfectada e água filtrada após tratamento completo ou filtração direta, e 5,0 uT como padrão de aceitação para consumo humano. Para água resultante de filtração lenta o Valor Máximo Permitido é 2,0 uT.
- A metodologia de avaliação é dita nefelométrica.
- Estude no manual esta avaliação.
-

■ 3.10 Temperatura

- A temperatura está relacionada com o aumento do consumo de água, com a fluoretação, com a solubilidade e ionização das substâncias coagulantes, com a mudança do pH, com a desinfecção, etc.
- Estude no manual esta avaliação.
-

▪ 3.11 Fluoretos

- A aplicação de flúor na água para consumo humano tem a finalidade de prevenir a cárie dental. Hoje, esse procedimento é considerado um processo normal de tratamento de água e o teor ótimo de flúor é parte essencial de sua qualidade.
- Em razão disso e outros fatores, é que o seu controle se faz necessário na estação de tratamento de água.
- Estude no manual esta avaliação.
- Observe no manual também as normas para coletas e preservação de amostras para análise físico-químicas.

• IV. Tratamento do esgoto doméstico

• Princípios.

• A água de esgoto ou residual, é definida como água usada naa atividades humanas, às vezes misturada com água de fonte natural. Consiste em:

- Despejos domésticos;
- Detritos industriais;
- Água de lençol freático na superfície ou da chuva que entra no sistema de esoto.
- Há 3 tipos de esgoto:
 - Sanitário ou cloacal;
 - Pluvial;
 - Combinado.

•IV. Tratamento do esgoto doméstico

• **Princípios.**

- O esgoto consiste em 99,9% de água e 0,01% de sólidos. Este componente sólido acumulado resulta em grandes quantidades.
- Despejos industriais ainda acrescentam compostos químicos diversos no esgoto, muitas vezes indesejáveis ao tratamento;

-

- IV. Tratamento do esgoto doméstico
- Esgotos sanitários são os despejos líquidos constituídos de esgoto doméstico e industriais.
- Resíduo líquido industrial é o esgoto resultante dos processos industriais (características muito diversas).
- Esgotos domésticos provém do abastecimento humano (características bem definidas).

- IV. Tratamento do esgoto doméstico
 - Partes constituintes dos sistemas de esgotos sanitários
 - Coletores
 - coletor predial,
 - coletor de esgotos ou secundário
 - coletor tronco.
 - Interceptores
 - emissário,
 - estações elevatórias,
 - sifões invertidos,
 - órgãos complementares,
 - estações de tratamento de esgotos (ETEs)
 - obras de lançamento final.

- IV. Tratamento do esgoto doméstico
 - Os esgotos sanitários e o meio ambiente
 - A quantidade e qualidade pode depender de:
 - Hábitos e condições socioeconômicas.
 - Ligações clandestinas.
 - Conservação da rede de esgoto.
 - Clima.
 - Custo e medição da água distribuída.
 - Pressão e qualidade da água distribuída na rede de abastecimento.
 - Conservação dos aparelhos e “metais” sanitários.

- IV. Tratamento do esgoto doméstico

- **Processos tratamento segundo o meio empregado**

- Sólidos grosseiros em suspensão (crivos, grades, desintegradores).
- Sólidos grosseiros sedimentáveis (caixa de areia, centrifugadores).
- Óleos, graxa e substâncias flutuantes análogas (tranques de retenção, tranques de flotação, decantadores com remoção de espumas).

- IV. Tratamento do esgoto doméstico
 - **Processos tratamento segundo o meio empregado**
 - Material miúdo em suspensão (tranques de flotação, tranques de precipitação química, filtros de areia).
 - Orgânicos dissolvidos (irrigação de grande superfícies, campo de nitrificação, filtro biológico, lagoas de estabilização).
 - Odores e doenças (cloração, reagentes químicos, instalações biológicas).

- IV. Tratamento do esgoto doméstico

- **Processos tratamento segundo a eficiência das unidades**

- Preliminar (remoção de sólidos, gorduras e areia)
- Primário (decantação, flotação, digestão do lodo, secagem do lodo)
- Secundário (filtragem biológica, lodos ativados, decantação, lagoas de estabilização).
- Avançado (remoção de nutrientes e complexos orgânicos).

FIGURA 8.14

Disposição esquemática de uma estação de tratamento de esgoto.

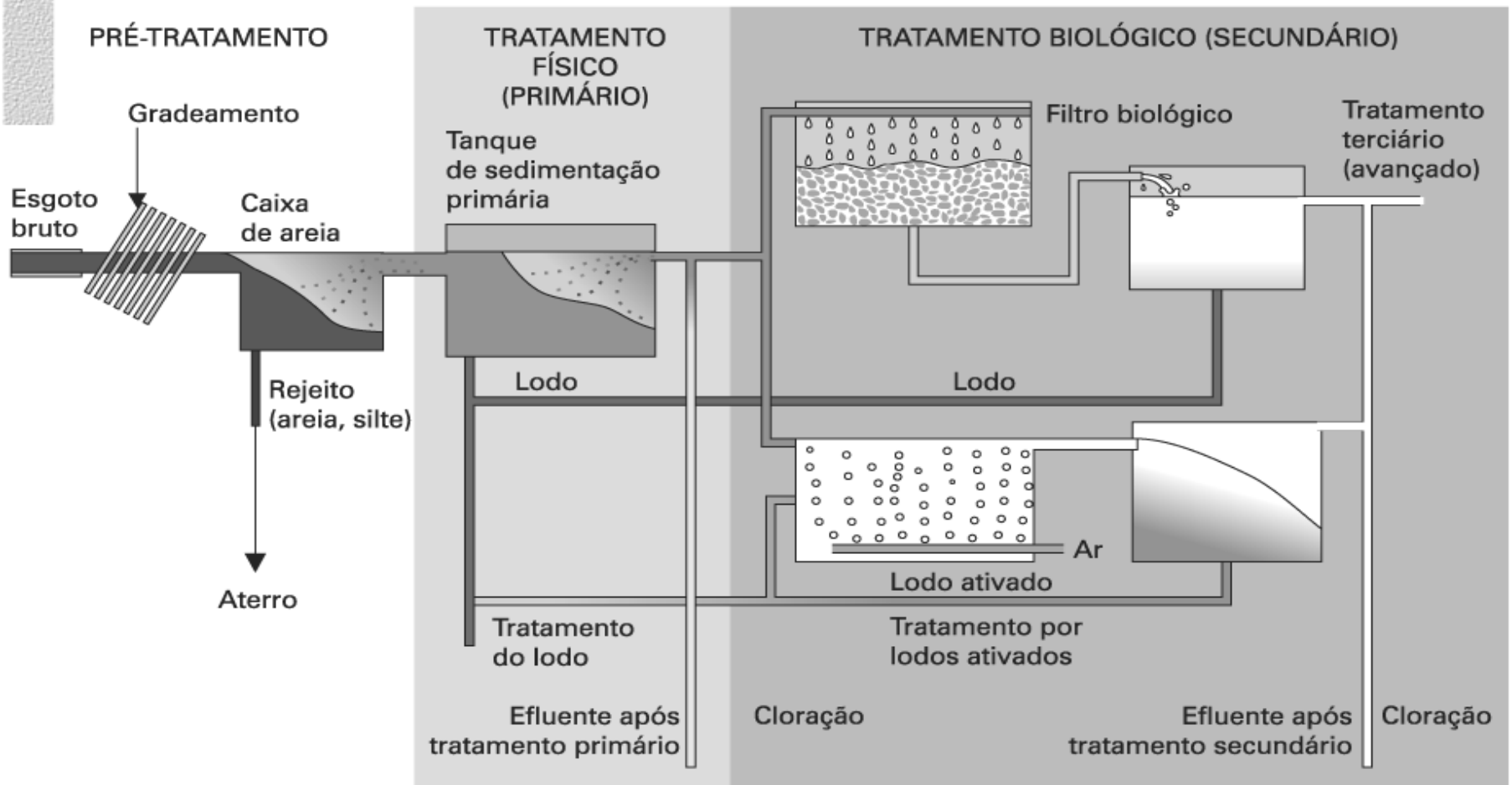
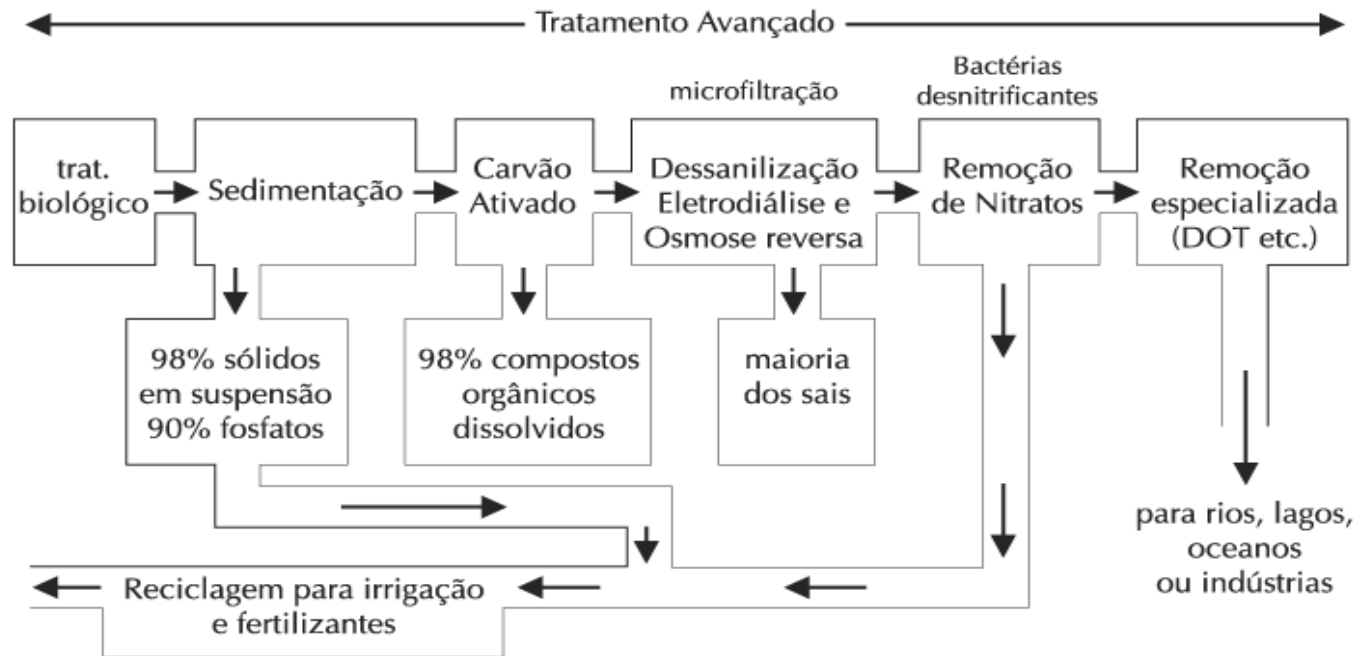


FIGURA 8.15

Esquema para retirada de determinados poluentes por tratamento avançado.



•IV. Tratamento do esgoto doméstico

• **Princípios.**

• **Microrganismos do esgoto:**

- Fungos, protozoários, algas, bactérias e vírus estão presentes nas águas residuais.
- O esgoto não tratado pode conter milhões de bactérias por mililitro, incluindo coliformes, estreptococos, bacilos anaeróbios esporulados, bactérias do gênero *Proteus* e outros microrganismos intestinais.

• **IV. Tratamento do esgoto doméstico**

• **Princípios.**

• A eficiência do processo de tratamento depende das alterações bioquímicas conduzidas pelos microrganismos, conforme tabela a seguir.

• **O que é DBO.**

• A demanda bioquímicos de oxigênio – DBO - é a quantidade de oxigênio dissolvido requerida para a degradação aeróbia da matéria orgânica presente no esgoto. Deve-se tentar reduzir a remoção do oxigênio nos mananciais naturais que recebem este despejo. Quanto maior a DBO, mais material orgânico oxidável estará presente. O ecossistema aquático depende da manutenção de quantidades mínimas de oxigenio dissolvido, ou seja, o despejo de esgoto com alta DBO é altamente indesejável.

•IV. Tratamento do esgoto doméstico

Tabela 29.2 Esquema generalizado da degradação microbiana de constituintes orgânicos no esgoto.

Substrato + Enzimas de microrganismos	PRODUTOS FINAIS REPRESENTATIVOS	
	Condições anaeróbias	Condições aeróbias
Proteínas e outros compostos orgânicos nitrogenados	Aminoácidos Amônia Nitrogênio Sulfeto de hidrogênio Metano Dióxido de carbono Hidrogênio Álcoois Ácidos orgânicos Indol	Aminoácidos Amônia → nitritos → nitratos Sulfeto de hidrogênio → ácido sulfúrico Álcoois } Ácidos orgânicos } → CO ₂ + H ₂ O
Carboidratos	Dióxido de carbono Hidrogênio Álcoois Ácidos graxos Compostos neutros	Álcoois } Ácidos graxos } → CO ₂ + H ₂ O
Lipídeos e substâncias relacionadas	Ácidos graxos + glicerol Dióxido de carbono Hidrogênio Álcoois Ácidos graxos de cadeia curta	Álcoois } Ácidos graxos menores } → CO ₂ + H ₂ O

•IV. Tratamento do esgoto doméstico

• **Princípios.**

- Uma planta de tratamento de esgoto é semelhante a um recipiente ou placa de meio de cultura bacteriano.
- Inocula-se para produzir mais bactérias, ou de outra forma, para transformar os nutrientes através da metabolização.
- Durante o crescimento bacteriano, os nutrientes são oxidados para produzir energia e mais crescimento.
- Há a conversão dos nutrientes em dióxido de carbono, nitrato, sulfato, fosfato, etc.
- Situação semelhante vai acontecer no tratamento do esgoto.
-

•IV. Tratamento do esgoto doméstico

- O esgoto bruto é rico em nutrientes orgânicos tais como fezes e urina, restos alimentares e resíduos industriais. As plantas de tratamento visam as ótimas condições para selecionar e utilizar micorganismos para converter a matéria orgânica facilmente biodegradável – EBOM – em compostos químicos aceitáveis como CO₂, nitrato, sulfato e fosfato. Este processo também é chamado de mineralização. Parte deste processo é realizado em condições aeróbicas, para o que há necessidade de suprir-se oxigênio às bactérias.
- O material que não é degradado inicialmente sedimenta progressivamente. Esta parte é chamada de lodo.
- O tratamento do lodo é chamado de secundário. Há dois tipos: o sistema de lodo ativado e o sistema de filtração lenta.

•IV. Tratamento do esgoto doméstico

• **Princípios.**

- Uma planta de tratamento de esgoto é semelhante a um recipiente ou placa de meio de cultura bacteriano.
- Inocula-se para produzir mais bactérias, ou de outra forma, para transformar os nutrientes através da metabolização.
- Durante o crescimento bacteriano, os nutrientes são oxidados para produzir energia e mais crescimento.
- Há a conversão dos nutrientes em dióxido de carbono, nitrato, sulfato, fosfato, etc.
- Situação semelhante vai acontecer no tratamento do esgoto.
- **Exercício: descrever as etapas do tratamento do esgoto de uma residência. Qual a semelhança com o tratamento em larga escala?.**

•IV. Tratamento do esgoto doméstico: etapas.

• **Etapa 1.**

- Em qualquer tipo, a primeira etapa do tratamento do esgoto, o volume total é canalizado a um reservatório, onde ocorre:
- Filtração por grade do material volumoso, objetos, restos grosseiros, etc.
- Sedimentação de barro e pedras.

• **Etapa 2.**

- O efluente do primeiro tanque flui ao tanque de sedimentação primária, dotado também de mecanismo de filtração (peneira móvel) para retirar objetos flutuantes.

-

•IV. Tratamento do esgoto doméstico: etapas.

• **Etapa 3.**

- No processo de filtração lenta, o efluente do segundo tanque passa para o tanque de filtração, de forma forçada, em *spray*, para produzir condições aeróbicas. Neste tanque, há 1-2 metros de camada inferior de leito de rochas. O efluente aí, propicia um crescimento de bactérias aeróbicas que degradam a matéria orgânica. O microecossistema do leito de filtração inclui também musgos, protozoários e insetos. Espera-se a eliminação de 99,9% dos patógenos nesta etapa.
- No processo de lodo ativado, o efluente do segundo tanque é adicionado de um inóculo de lodo do tanque de sedimentação secundária descrito na etapa 4. Estas bactérias agem aerobicamente. O que ocorre agora é um processo de metabolização aeróbica no tanque, que deve ser constantemente movimentado e bombeado com ar, para incorporar oxigênio.

•IV. Tratamento do esgoto doméstico: etapas.

• **Etapa 4.**

- O efluente do terceiro tanque passa ao reservatório denominado agora de tanque de sedimentação secundária. Neste a água já permite a presença de pássaros aquáticos e outros animais. O sobrenadante também é filtrado por grades. O sedimento agora consiste em restos biológicos do tanque anterior. Forma-se um novo lodo de composição distinta, com presença de bactérias aeróbicas. O sobrenadante é drenado para tanques de cloração (a gás líquido).

-

•IV. Tratamento do esgoto doméstico: etapas.

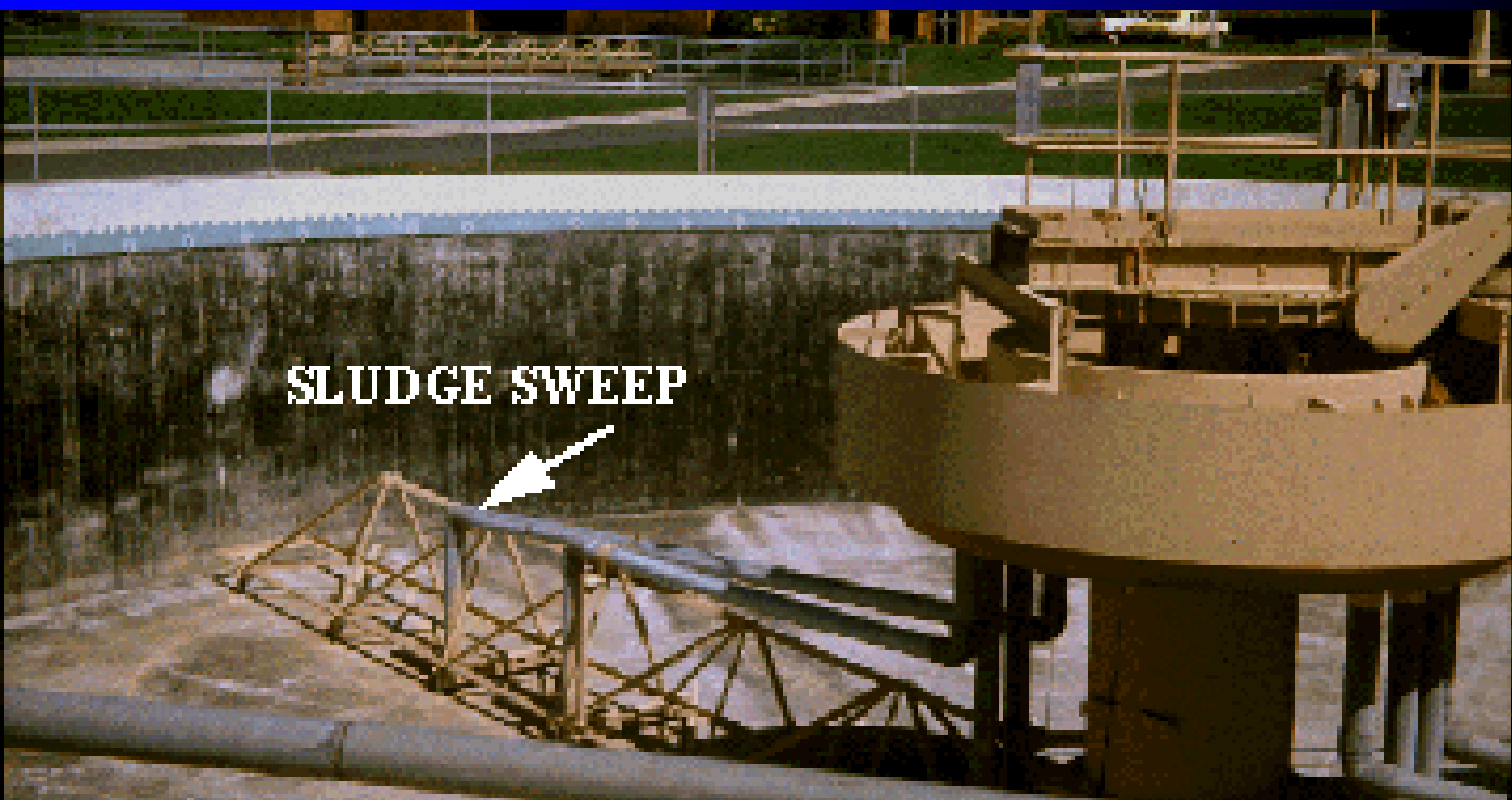
• **Etapa 5.**

- Ocorre nos tanques de tratamento com cloro. A água é drenada para um curso de água ou manancial natural e tem baixíssima DBO.

• **Etapa 6: tratamento do lodo.**

- Todo o lodo deve ser tratado antes de ser disposto. A forma de tratamento consiste em drená-lo para tanques de fermentação anaeróbica, onde agem bactérias anaeróbicas produtoras de metano. O gás resultante pode ser usado como fonte de energia, combustível para frotas convertidas. O lodo tratado e seco pode ser disposto como adubo.

•IV. Tratamento do esgoto doméstico: etapas.



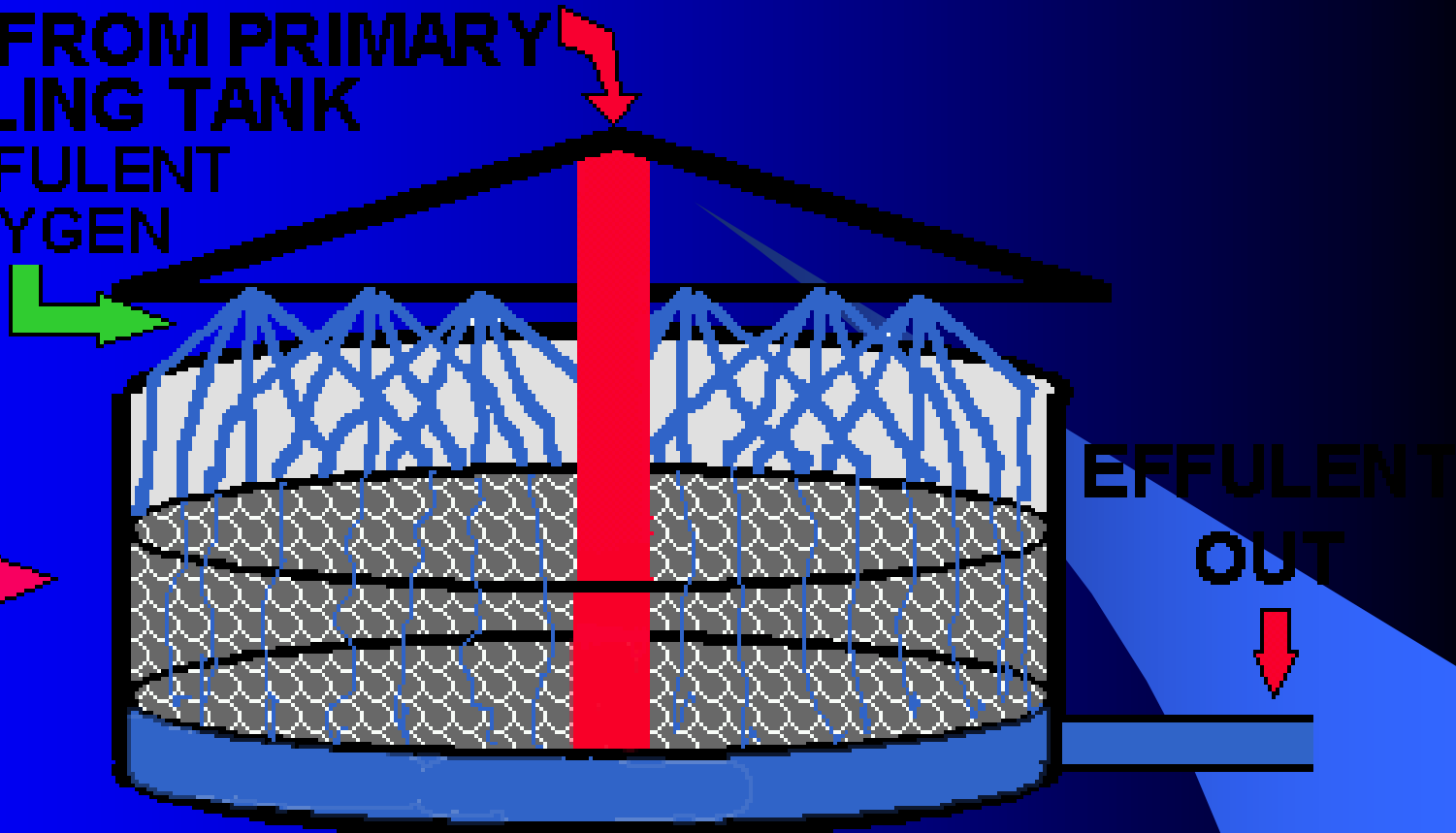
•IV. Tratamento do esgoto doméstico: etapas.

**EFFULENT FROM PRIMARY
SETTLING TANK**

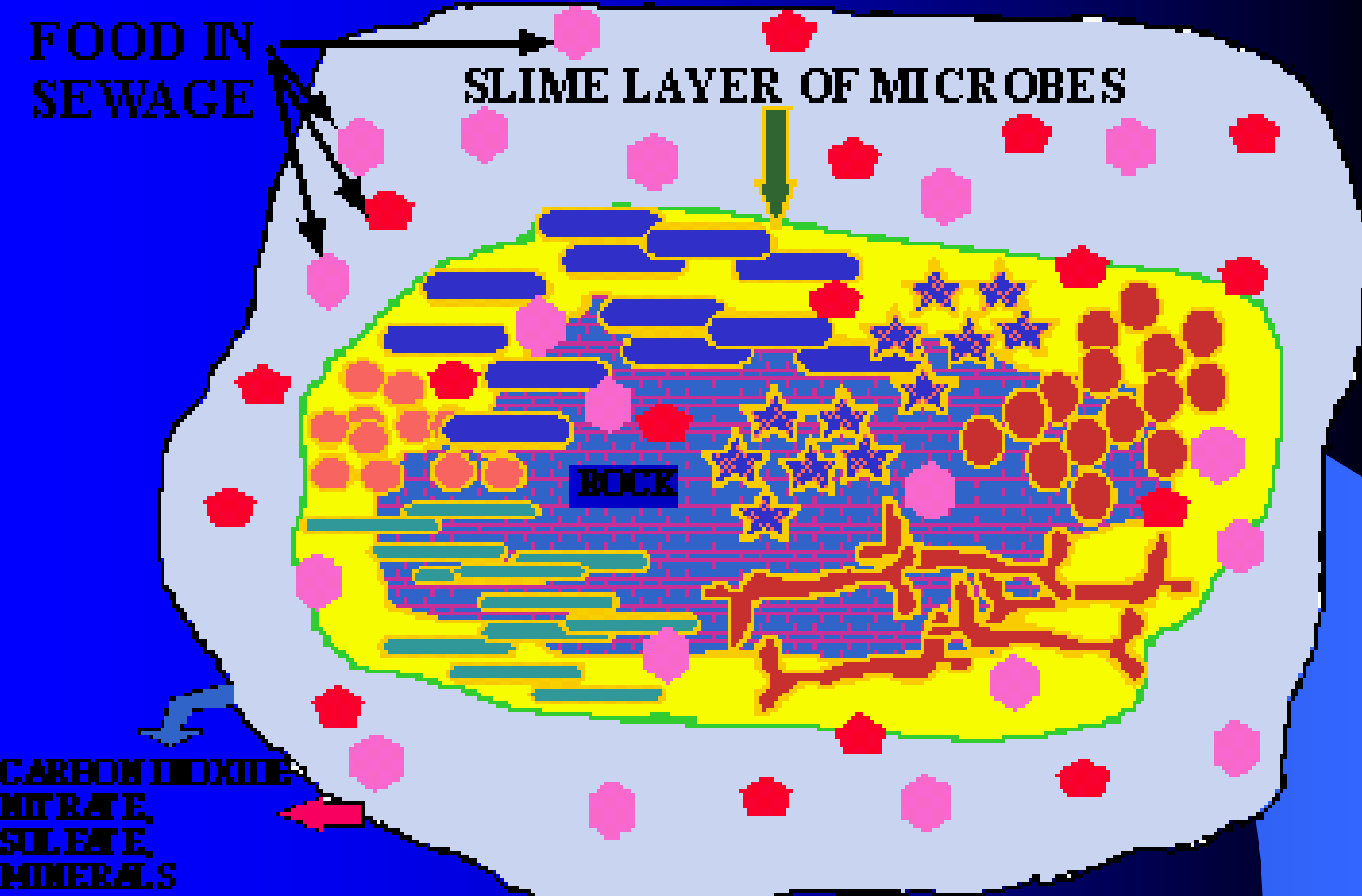
**SPRAYED EFFULENT
PICKS UP OXYGEN**

ROCKS

**EFFULENT
OUT**



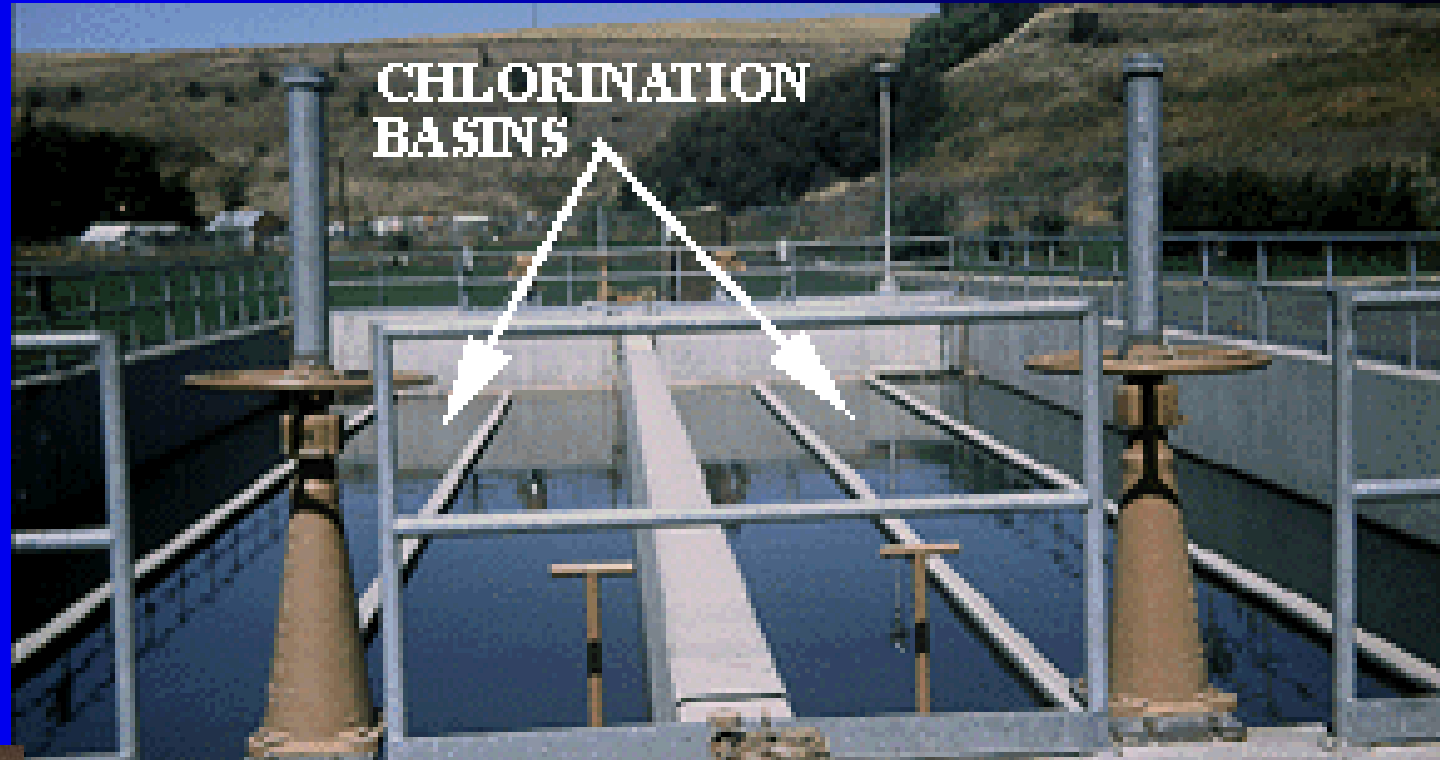
•IV. Tratamento do esgoto doméstico: etapas.



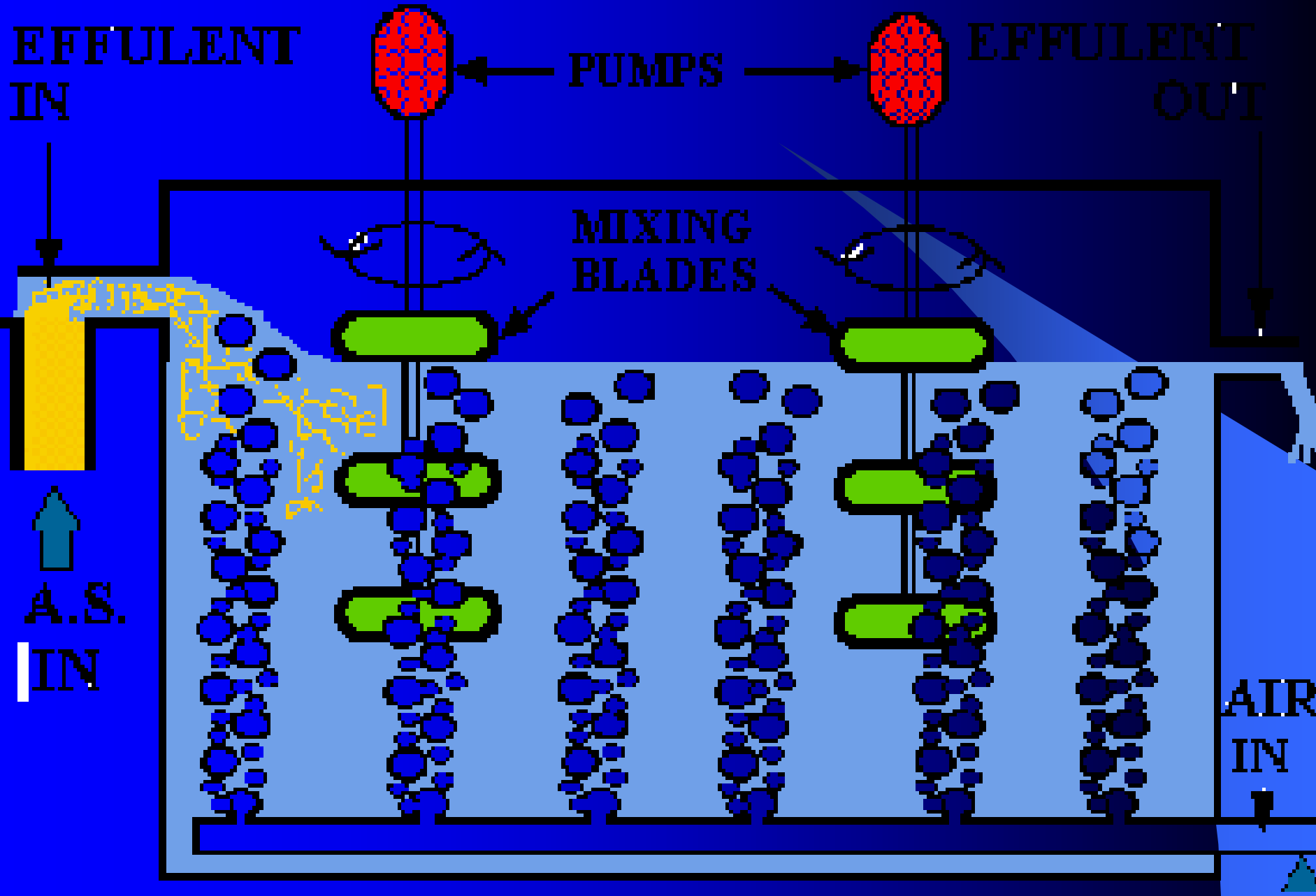
•IV. Tratamento do esgoto doméstico: etapas.



•IV. Tratamento do esgoto doméstico: etapas.



•IV. Tratamento do esgoto doméstico: etapas.

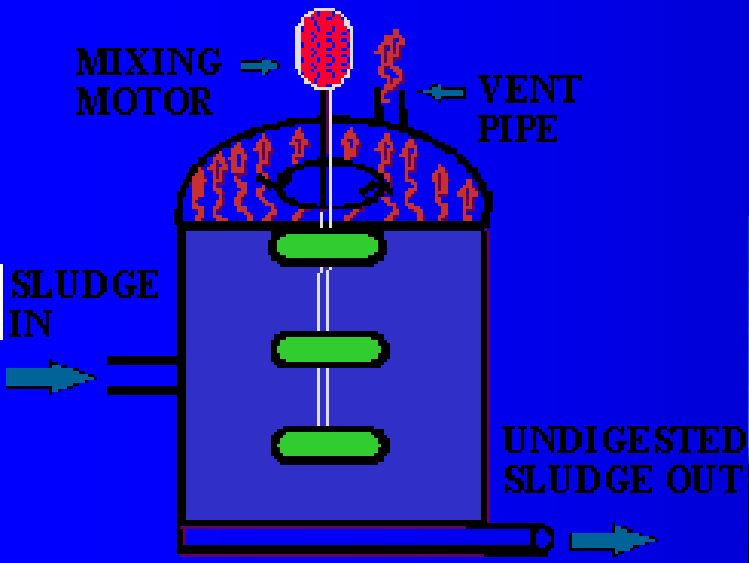


•IV. Tratamento do esgoto doméstico: etapas.



ACTIVATED
SLUDGE
AERATION
TANKS

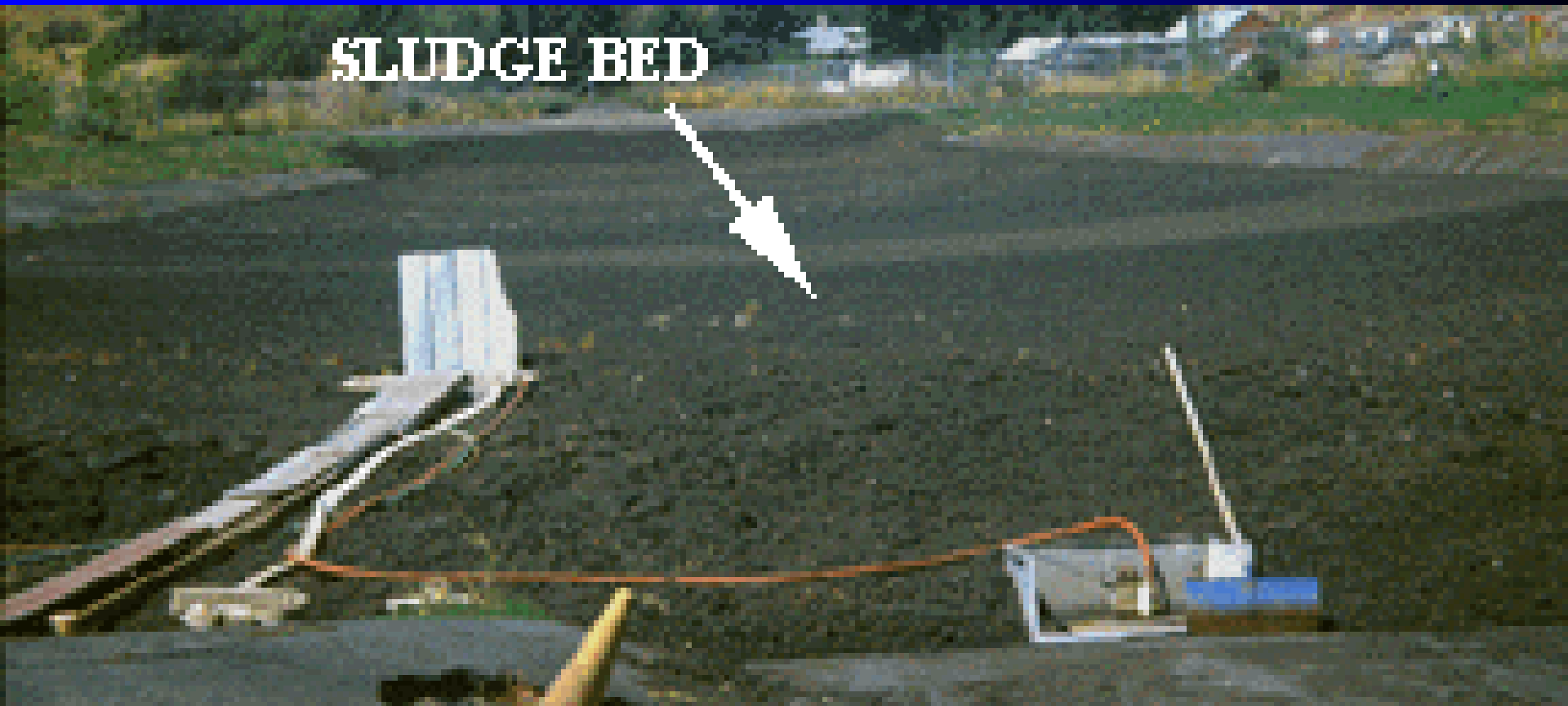
•IV. Tratamento do esgoto doméstico: etapas.



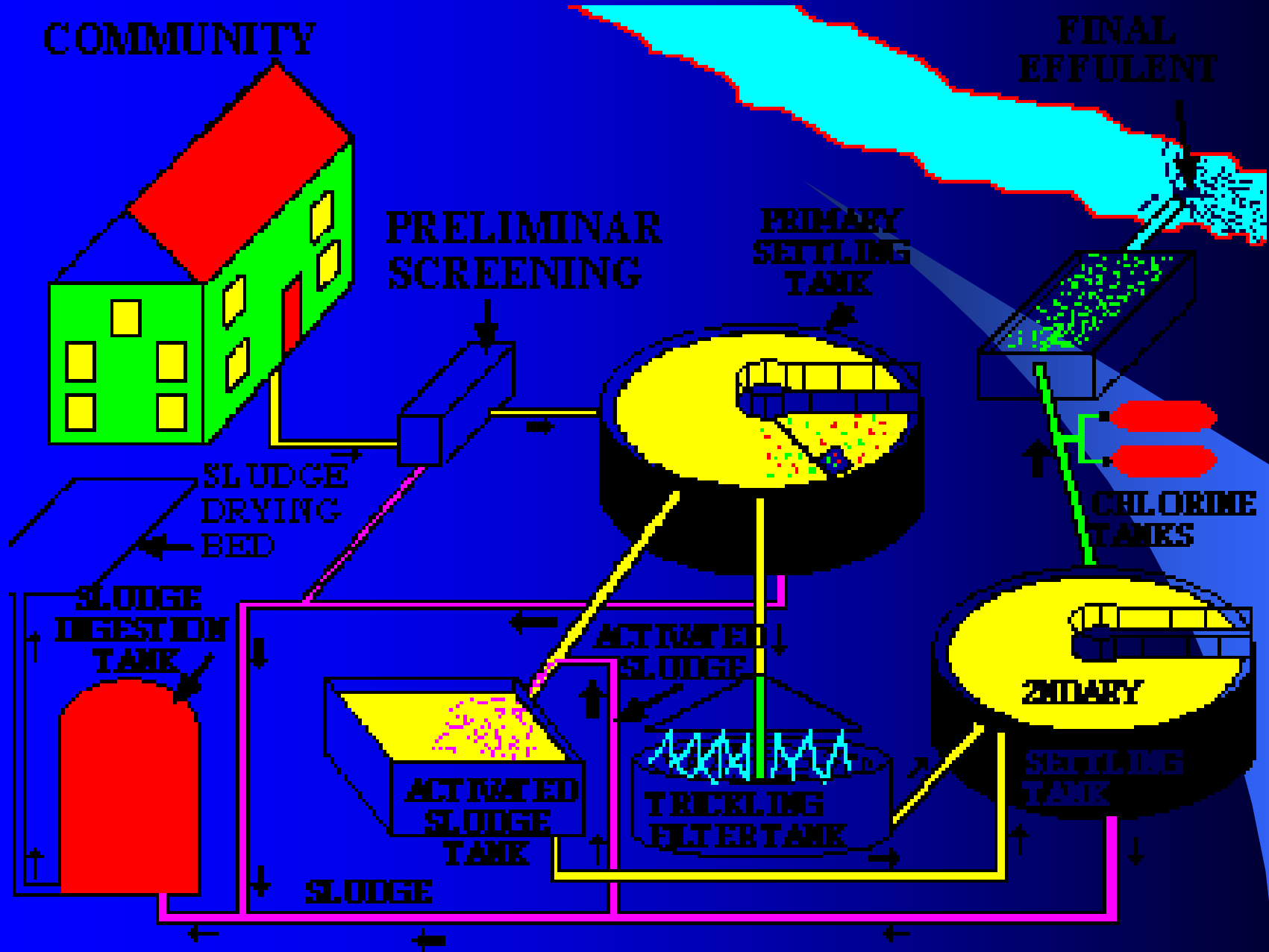
SLUDGE DIGESTION TANK

SLUDGE THICKENING TANK

- IV. Tratamento do esgoto doméstico: etapas.



•IV. Tratamento do esgoto doméstico: etapas.



- Referências Bibliográficas

- B. Braga; et al.; Introdução à Engenharia Ambiental; 2ª ed.; São Paulo: Pearson Prentice Hall; 2005 (Capítulo 8).

- T. G. Spiro; W. M. Stigliani; Química Ambiental; 2ª ed.; São Paulo: Pearson Prentice Hall; 2009 (Capítulo 14).

- Biblioteca Digital da FINEP
<http://www.finep.gov.br/prosab/produtos.htm>

- S. E. Manahan; *Fundamentals of Environmental Chemistry*; Boca Raton: CRC Press LLC, 2001 (Capítulo 13).