



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPTO RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE

# *Poluição das Águas*

DISCIPLINA:  
**ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE**

PRIMEIRO SEMESTRE 2002

---

## ÍNDICE

|                                                   | Página: |
|---------------------------------------------------|---------|
| 1. Introdução                                     | 3       |
| 2. Poluição das Águas                             | 6       |
| 3. Características das Águas e dos Esgotos        | 7       |
| 4. Oxidação Biológica da Matéria Orgânica         | 9       |
| 5. Autodepuração dos Cursos de Água               | 12      |
| 6. Substâncias Tóxicas e seus Efeitos             | 18      |
| 7. Poluição dos mares                             | 19      |
| 8. Tratamento de Esgotos Domésticos e Industriais | 19      |
| 9. Poluição Térmica                               | 21      |
| 10. Bibliografia                                  | 23      |

## POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

### 1. Introdução

A água existe na Terra nas fases sólida, líquida e gasosa, que estão ligadas entre si num ciclo fechado, o ciclo da água. Os primeiros astronautas que viram a Terra do espaço a denominaram o “Planeta Azul”, pois cerca de dois terços da sua superfície são cobertos pela água dos mares e oceanos. A quantidade de água existente na Terra é de 1.360 milhões de  $\text{km}^3$ , dos quais 97,41% são de água salgada.

A água doce é fundamental para a manutenção da vida nos ecossistemas terrestres, e portanto, essencial para a sobrevivência do homem na biosfera. Entretanto, apenas 2,59% do volume total de água existente na Terra é de água doce, sendo que mais de 99% estão sob a forma de gelo ou neve nas regiões polares ou em aquíferos muito profundos. Do restante, quase metade está nos corpos dos animais e vegetais (biota), como umidade do solo, e como vapor d’água na atmosfera, e a outra metade está disponível em rios e lagos (UNEP, 1992). Menos de 1% da água doce do mundo está disponível para o uso humano.

Além disso, como o regime de chuvas varia muito entre as diferentes áreas de um mesmo continente, e a população não está distribuída de forma homogênea, a disponibilidade de água doce per capita é bastante desigual nas várias regiões do planeta: desde níveis extremamente baixos, de  $300 \text{ m}^3/\text{ano}$  per capita, até níveis muito elevados, superiores a  $50.000 \text{ m}^3/\text{ano}$ . Variações climáticas periódicas podem agravar as secas, provocando morte e sofrimento humano, e também causar as enchentes, que são um dos piores desastres naturais em termos de vítimas e de danos vultosos às propriedades e aos solos agrícolas.

O crescimento populacional nos países em desenvolvimento e a maior demanda de água para usos agrícola e industrial, provocaram o aumento do consumo global de água de  $1.060 \text{ km}^3/\text{ano}$  para  $4.130 \text{ km}^3/\text{ano}$  nos últimos 50 anos. Cerca de 70% do consumo de água para as atividades humanas é para irrigação, 20% para indústrias e 10% para o consumo doméstico. Entre 1900 e 1995, o consumo total de água para as atividades humanas cresceu seis vezes, que é mais que o dobro do crescimento da população mundial (IRC, 1997). O aumento do consumo é maior nos países em desenvolvimento, onde a população continua a crescer: 90% do crescimento populacional futuro ocorrerá nestes países. Portanto, a água será um recurso limitante no século 21 e vai atingir mais severamente os países em desenvolvimento.

Entre os diversos usos da água, a irrigação é a que apresenta o maior desperdício, pois cerca de metade da água utilizada para este fim não atinge as plantações, perdida pela infiltração no solo e pela evaporação. Por isso, sistemas de irrigação mal planejados ou mal operados podem causar a salinização dos solos. Para se produzir uma tonelada de grãos são necessárias mil toneladas de água, e para uma tonelada de arroz, duas mil toneladas de água. A melhoria da eficiência das sistemas de irrigação, é portanto, a melhor alternativa para atender o aumento futuro da demanda de água para o consumo humano.

Embora a água doce seja um recurso renovável, sua quantidade é limitada: apenas 200 mil  $\text{km}^3$  estão disponíveis nos aquíferos superficiais (rios e lagos). Esta quantidade era suficiente em 1900, quando cerca de 2 bilhões de habitantes viviam no planeta. Agora, somos 6 bilhões, e a quantidade de água disponível já chega perto dos limite: 40% da população mundial já sofre de escassez de água. Em 2025, a mesma quantidade de água deverá atender a quase 3 bilhões de pessoas a mais! Além disso, a poluição das águas e o desmatamento das nascentes dos rios continua a aumentar.

O suprimento global de água vai permanecer constante ou poderá sofrer um pequeno acréscimo em virtude das mudanças climáticas - maior temperatura global gerando maior quantidade de vapor d'água. O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos analisando vários cenários de modelos globais de mudanças climáticas (GCMs) concluiu que, embora a disponibilidade de água global deva aumentar entre 6 e 12%, em algumas regiões a escassez de água poderá se agravar (Darwin et alii, 1995). Em cerca de metade da área do mundo, as precipitações pluviométricas serão maiores que hoje, particularmente no norte da Índia, da Rússia e América do Norte, mas reduções significativas vão acontecer nas regiões em desenvolvimento (Morita et alii, 1995).

Como o regime de chuvas e a população não se distribuem homoganeamente, a disponibilidade de água per capita pode variar de 300 m<sup>3</sup>/ano na Jordânia a 120.000 m<sup>3</sup>/ano no Canadá (Engelman, 1993). A América do Sul e a América do Norte têm abundância, em contraste com a África Sub-Saariana, o Oriente Médio e o Leste da Ásia que sofrem de acentuada escassez de água. O crescimento populacional vai reduzir a disponibilidade de água per capita nos países em desenvolvimento nos próximos anos.

Países com disponibilidade de água entre 1.000 e 1.600 m<sup>3</sup>/ano per capita, sofrem do que se chama *stress* hídrico, e enfrentam sérios problemas em anos de seca. Países com disponibilidade menor que 1.000 m<sup>3</sup>/ano per capita são considerados escassos em água. Atualmente, 28 países, com uma população total de 338 milhões de pessoas, enfrentam *stress* hídrico, a maior parte do Leste da Ásia e da África. Por volta de 2025, entre 46 e 52 países, com população total em torno de 3 bilhões de pessoas, poderão sofrer de *stress* hídrico e cerca de 23 estarão enfrentando escassez absoluta de água (Engelman, 1993).

Os países situados em regiões áridas e semi-áridas, como os do Oriente Médio, já enfrentam a crise da água há muitos anos, mas a percepção de uma crise mundial de água só agora alcançou a consciência internacional. A crise da água deverá afetar mais seriamente os países em desenvolvimento, onde centenas de milhares de pessoas morrem e continuarão a morrer devido à falta de água limpa e às secas. Nos países mais pobres, a água poluída é a principal causa de muitas doenças, como a diarreia, que mata mais de 3 milhões de pessoas (principalmente crianças) por ano no mundo. Cerca de 80% de todas as doenças e mais de 33% das mortes nos países em desenvolvimento estão associadas à falta de água em quantidade e qualidade adequadas (OMS, 1992).

O PNUMA estima que cerca de 25.000 pessoas morrem por dia nos países em desenvolvimento, ou pela falta de água ou pela ingestão de água de má qualidade.

A Conferência da Nações Unidas sobre a Água, realizada em Mar del Plata, Argentina, em março de 1977, foi a primeira grande tentativa de tratar o problema. Já naquela época, o crescente consumo de água, e a pressão exercida sobre os recursos hídricos de algumas regiões, indicavam o surgimento de uma crise da água no próximos 50 anos, que só poderia ser atenuada com a adoção de programas de longo prazo de gerenciamento integrado dos recursos hídricos. O Plano de Ação de Mar del Plata, até hoje o mais completo plano integrado nesta área, foi executado apenas em parte, principalmente no que diz respeito às medidas voltadas aos países em desenvolvimento.

Em virtude dos grande custos envolvidos para o aproveitamento de novas fontes de água, a demanda para uso doméstico no futuro deverá ser atendida, em parte, pela redução das perdas na irrigação e pelo uso mais eficiente da água nas indústrias e nos sistemas urbanos. Por volta de 2010, o aumento da eficiência nos usos vai se constituir na maior fonte adicional de água do Sul da Califórnia (Dziegielewski, 1992). Nos países em desenvolvimento, em especial, isto só será conseguido através de uma completa reforma nas políticas atuais de uso de água.

As grandes dificuldades para adotar estas reformas estão nas práticas centenárias e convicções culturais e religiosas que tratam a água como um bem livre da natureza, nos interesses enraizados que se beneficiam dos sistemas de subsídios existentes e na sua gestão, que deve considerar o aproveitamento integrado dos recursos hídricos existentes. Mesmo superando essas dificuldades, os investimentos necessários para atender futuramente o abastecimento de água e o esgotamento sanitário (incluindo tratamento apropriado) para a crescente população urbana nos países em desenvolvimento, poderá atingir US\$500,00 por habitante (Seckler, 1996).

Para atendimento pleno da demanda futura de água para fins urbanos, com o aproveitamento de novas fontes, estima-se que seriam necessários investimentos da ordem de 11 a 14 bilhões de dólares por ano, durante os próximos trinta anos, o que significa o dobro da quantidade de recursos financeiros disponíveis para investimento em abastecimento doméstico durante os anos 80, isto é, em plena Década Internacional do Abastecimento de Água e Saneamento. Por isso, dificilmente estarão disponíveis recursos financeiros setoriais desta magnitude (Bhatia e Falkenmark, 1993).

O Banco Mundial publicou o relatório “Gerenciamento de Recursos Hídricos” (World Bank, 1993), que conclui que “a água é um recurso cada vez mais escasso, que necessita de um cuidadoso gerenciamento econômico e ambiental”, e recomenda que os países em desenvolvimento adotem com urgência uma política integrada de gerenciamento dos recursos hídricos, que considere os aspectos inter-setoriais dos usos da água.

Os recursos hídricos internacionais (rios, lagos e aquíferos subterrâneos compartilhados por dois ou mais países) são umas das poucas possibilidades futuras de desenvolvimento, através do seu gerenciamento integrado, fato que reforça a necessidade de cooperação crescente entre estes países, na medida em que a água for se tornando mais escassa.

As grandes cidades, particularmente as megalópoles, e as que estão crescendo rapidamente nos países em desenvolvimento, vão exigir, cada vez mais, enormes esforços para reduzir o déficit crônico de abastecimento de água e de esgotamento sanitário adequados. Muitas, como a Cidade do México, vão necessitar implantar um cuidadoso gerenciamento dos aquíferos subterrâneos (estão retirando água com velocidade superior à recarga natural). Os violentos distúrbios provocados pela falta de água em Delhi, Índia, em maio de 1993, são um bom exemplo do que poderá ocorrer nas nossas megacidades num futuro próximo, se medidas urgentes não forem tomadas.

A escassez de água, que já foi motivo para muitas guerras no passado, pode, cada vez mais, agir como catalisador no conjunto de causas ligadas a qualquer conflito futuro. A questão mais importante do próximo século, para muitos países, poderá ser o controle dos recursos hídricos.

Um documento elaborado pela UNESCO e pela Organização Meteorológica Mundial, intitulado “A Água no Mundo: Há o bastante?”, divulgado ao final do I Fórum Mundial sobre Água, realizado em Marraquesh, Marrocos, em 21 e 22 de março de 1997, concluiu que “a diminuição dos recursos hídricos, associada a uma maior demanda de água potável, ameaça transformar essa matéria em uma explosiva questão geo-política, já que aproximadamente 200 bacias hidrológicas se localizam em áreas de fronteiras de vários países”. Muitos especialistas prevêem que as guerras do próximo século serão pela posse da água. (IRC, 1997). A água deverá, então, desempenhar, no Século 21, um papel semelhante ao do petróleo no Século 20.

O conceito do desenvolvimento sustentável prevê que os recursos naturais renováveis sejam utilizados de forma tal, que não limite a sua disponibilidade para as futuras gerações. Portanto, um dos maiores desafios que enfrentaremos, no futuro, para alcançar o desenvolvimento sustentável será como minimizar os efeitos da escassez da água (sazonal ou não) e da poluição, particularmente nos países em desenvolvimento. Para vencer este desafio, vamos enfrentar: a) os custos crescentes do aproveitamento de novas fontes de suprimento de água; b) os desperdícios, principalmente na irrigação e no abastecimento doméstico, que são estimulados pelos subsídios e incentivos distorcidos, ainda em vigor em muitos países em desenvolvimento.

A comunidade internacional já está reconhecendo a escassez da água como uma poderosa e crescente força de instabilidade social e política. Por isso, a gestão integrada dos recursos hídricos é hoje uma das prioridades na agenda política internacional.

## 2. Poluição das águas

Considera-se poluição das águas qualquer alteração das suas propriedades físicas, químicas ou biológicas, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, seja nociva ou ofensiva à saúde, à segurança e ao bem estar das populações, prejudique a vida aquática, ou crie condições inadequadas de uso para fins públicos, domésticos, agropecuários, industriais, comerciais ou recreativos.

A poluição das águas, decorrente das atividades humanas, pode ser provocada pelo lançamento de esgotos domésticos e despejos industriais, ou por pesticidas e fertilizantes usados na agricultura.

Os esgotos domésticos lançam nos corpos d'água matéria orgânica, com bactérias e vírus, e algumas outras substâncias, como detergentes. A decomposição da matéria orgânica consome o oxigênio dissolvido na água; bactérias patogênicas e vírus podem transmitir doenças como a febre tifóide e a hepatite; e os detergentes, além de serem tóxicos para a vida aquática a partir de uma certa concentração, impedem a reoxigenação da água.

Despejos industriais: os processos industriais compreendem a transformação de matérias primas em produtos acabados ou semi-acabados. Como esta conversão nunca é completa, resíduos sob a forma de matéria e energia são produzidos. Se estes resíduos não forem reutilizados e forem despejados na biosfera, podem tornar-se poluentes. Obviamente, o dano provocado por um poluente no ambiente depende de suas características qualitativas, da sua quantidade e das características do meio receptor, isto é, da capacidade de absorção deste meio. Os despejos industriais podem apresentar:

- a) características físicas alteradas, como temperatura alta e turbidez elevada;
- b) matéria orgânica biodegradável em altas concentrações, consumindo para sua decomposição grande quantidade de oxigênio dissolvido na água (ex.: vinhoto e despejos de matadouros e laticínios);
- c) despejos ácidos (ex.: siderúrgicas) ou alcalinos (ex.: indústria têxtil);
- d) despejos com substâncias tóxicas, como fenóis (biodegradáveis), pesticidas, organoclorados (baixa degradabilidade), e metais pesados, como mercúrio, cádmio, cromo hexavalente e arsênico.

### 3. Características das Águas e dos Esgotos

Todos os corpos d'água contêm quantidades variáveis de outras substâncias (que não o H<sub>2</sub>O), cujas concentrações variam no total de poucos mg/l, em águas de nascentes, até 35.000 mg/l na água do mar.

Os despejos industriais e domésticos acrescentam uma série de impurezas aos corpos d'água. Por exemplo, um homem produz cerca de 6g de cloretos por dia. Se o consumo médio de água for de 200 l/hab/día, o esgoto doméstico conterá 30mg/l mais cloreto do que a água potável. Em média, o esgoto doméstico contém cerca de 1.000 mg/l de sólidos dissolvidos em suspensão, sendo portanto 99,9% água.

As principais características físicas, químicas e biológicas que interessam a estudo rápido de poluição das águas, são:

#### 3.1 Características físicas:

- a. temperatura: é importante por seus efeitos em outras propriedades. Se há uma elevação da temperatura, aumenta a velocidade das reações químicas, diminui a solubilidade dos gases na água, aumenta o metabolismo dos peixes, gosto e odor são amplificados;
- b. gosto e odor: são devidos à presença de certas impurezas dissolvidas, principalmente de natureza orgânica (fenóis, clorofenóis, etc.);
- c. cor: é devida à presença de substâncias dissolvidas na água, como ácidos húmicos (não confundir com cor aparente devida a materiais em suspensão);
- d. turbidez: devida à presença de sólidos coloidais, partículas de argila, lodo de despejos domésticos e industriais e à presença de grande número de microorganismos. É um fator limitante à penetração da luz;
- e. sólidos: podem estar presentes em suspensão ou em solução e podem ser divididos em orgânicos e inorgânicos;
- f. densidade: a densidade máxima da água ocorre a 4°C, o que possibilita a sobrevivência dos peixes em lagos com a superfície congelada.

| Temperatura<br>(°C) | Densidade<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Volume de 1 g de água<br>(cm <sup>3</sup> ) |
|---------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|
| 0                   | 0,9998                            | 1,0002                                      |
| 4                   | 1,0000                            | 1,0000                                      |
| 10                  | 0,9997                            | 1,0003                                      |
| 20                  | 0,9982                            | 1,0018                                      |
| 100                 | 0,9584                            | 1,0434                                      |

### 3.2 Características químicas:

a. pH: mede a acidez ou a alcalinidade da água (concentração de ions  $H^+$  presentes).

$$pH = -\log_{10}(H^+)$$

O pH é medido numa escala de 0 a 14. Água com pH igual a 7 é neutra, acima de 7 é alcalina, e abaixo de 7 é ácida. Muitas reações químicas são comandadas pelo pH, e a atividade biológica é normalmente restrita à uma faixa estreita de pH (de 5 a 9).

b. oxigênio dissolvido (OD): a quantidade de OD na água depende da temperatura:

| Temperatura da água ( $^{\circ}C$ ) | 0    | 10   | 20  | 30  |
|-------------------------------------|------|------|-----|-----|
| OD de saturação (mg/l)              | 14,6 | 11,3 | 9,1 | 7,6 |

O oxigênio é muito pouco solúvel em água, se comparado com outros gases (o  $CO_2$  é 35 vezes mais solúvel que o  $O_2$ ). Peixes mais delicados, como as trutas, requerem um mínimo de 5 mg/l de OD na água para sua sobrevivência, e peixes mais resistentes (bagres), sobrevivem até com 2 mg/l.

c. demanda de oxigênio: é a quantidade de oxigênio consumida na oxidação da matéria orgânica (ou inorgânica, com o  $H_2S$ ) lançada num corpo d'água.

- demanda bioquímica de oxigênio (DBO): é a quantidade de oxigênio necessária ao processo de decomposição da matéria orgânica por microorganismos;
- demanda química de oxigênio (DQO): é a quantidade de oxigênio consumida na oxidação química da matéria orgânica, usando-se uma solução fervente de cromato de potássio e ácido sulfúrico concentrado (duração do teste: 3 horas, ou com métodos acelerados aproximados, até 15 minutos).

d. cloretos: responsável pelo gosto salobro da água. O limiar de sensibilidade para o gosto de cloretos na água é de 250 a 500 mg/l, embora até 1.500mg/l seja pouco provável que prejudique a saúde dos consumidores;

Quanto maior for o despejo de esgotos domésticos e industriais nas águas de um rio, maior será a quantidade de cloretos presentes.

e. nitrogênio: durante o processo de degradação da matéria orgânica forma-se amônia ( $NH_3$ ,  $NH_4^+$ ), que posteriormente é transformada em nitritos ( $NO_2^-$ ), e estes em seguida transformados em nitratos ( $NO_3^-$ ). Portanto, a presença de quantidades relativamente grandes de nitrogênio amoniacal e nitrogênio sob forma de nitritos nas águas de um rio indicam a possibilidade de uma poluição recente (algum despejo sendo efetuado à pouca distância, a montante).

### 3.3 Características biológicas:

Os despejos que contêm matéria orgânica (especialmente os despejos domésticos), apresentam geralmente um grande número de microorganismos. Os esgotos domésticos contam mais de  $10^6$  microorganismos por mililitro, e mesmo após o tratamento convencional o efluente apresenta ainda um grande número de microorganismos (redução de 80 a 90%).

Muitas doenças de origem microbiológica podem ser transmitidas pela água, como desintéria, febre tifóide, cólera e hepatite. São transmitidas através de vírus e bactérias patogênicas presentes nos excrementos de pessoas portadoras destas doenças. A análise das águas para

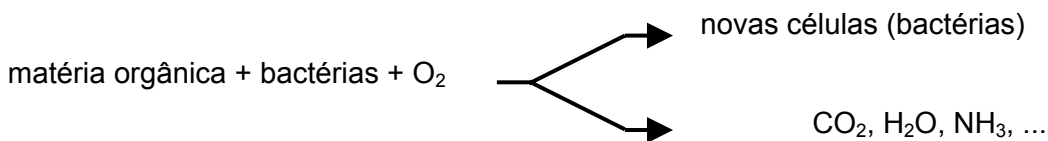


verificar a presença dos principais vírus e bactérias patogênicas é difícil, cara e demorada. Assim, as análises de rotina usam um microorganismo indicador, que é um habitante normal dos intestinos de animais de sangue quente mas não é patogênico: *Escherichia coli*, ou bactéria coliforme. Como bactérias coliformes são encontradas também em matéria orgânica vegetal em decomposição, as análises comuns são feitas para determinar a quantidade de coliformes totais (de origem animal e vegetal), e as mais específicas, para determinar a quantidade de coliformes fecais (de origem animal). A presença de coliformes numa amostra de água (principalmente se forem fecais) indica a possibilidade da presença de vírus ou bactérias patogênicas.

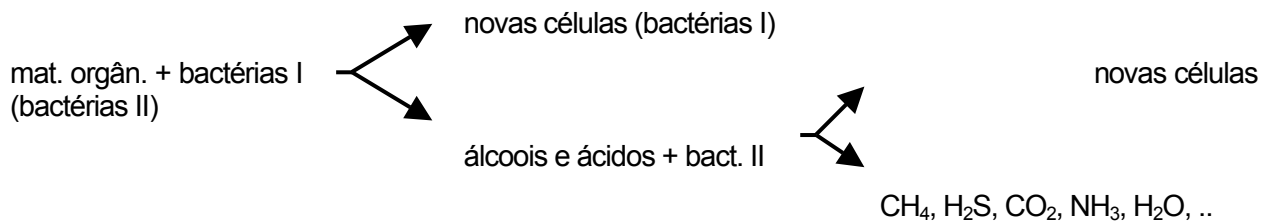
#### 4. Oxidação Biológica da Matéria Orgânica

##### 4.1 Tipos de oxidação biológica:

###### a. oxidação aeróbica:



###### b. oxidação anaeróbica:



A oxidação anaeróbica é mais lenta e libera menos energia que a aeróbica.

O crescimento do número de bactérias em um recipiente onde foi introduzida uma certa quantidade de alimento (matéria orgânica biodegradável) pode ser visualizado no gráfico da página a seguir:

Fases:

1. crescimento exponencial
2. crescimento declinante
3. respiração endógena

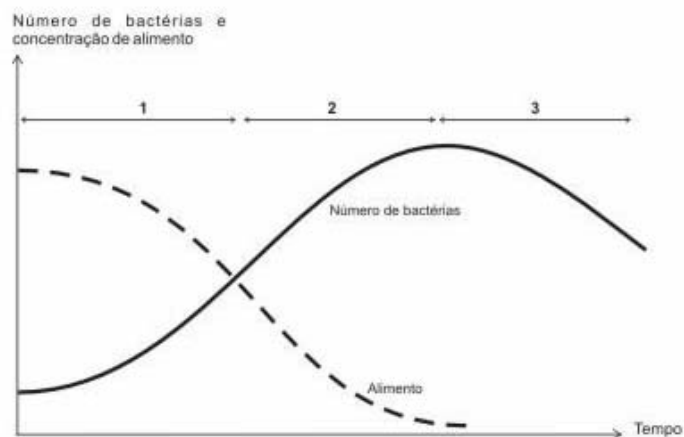


Fig. 1 Crescimento biológico

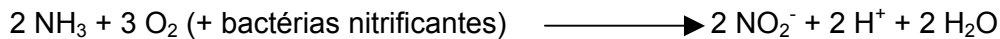
#### 4.2 Demanda de oxigênio em oxidação aeróbica

A quantidade total de oxigênio necessária pode ser dividida em duas partes: para oxidar a matéria orgânica carbonácea e para a nitrificação de compostos nitrogenados.

- a. matéria orgânica carbonácea - tomando, por exemplo, a glicose, teríamos:



- b. compostos nitrogenados:



Pode-se calcular a demanda máxima aproximada de oxigênio (MDO) pela fórmula:

$$\text{MDO (mg/l)} = 2,67 \times \text{C}_{\text{orgânico}} (\text{mg/l}) + 4,57 (\text{N}_{\text{orgânico}} + \text{N}_{\text{amoniacal}}) (\text{mg/l}) + 1,14 \text{N}_{\text{NO}_2} (\text{mg/l})$$

#### 4.3 Determinação da DBO.

Como já foi dito, a DBO é a quantidade de oxigênio necessária para a ação de microorganismos aeróbicos, na degradação da matéria orgânica (alimento) introduzida no corpo d'água sob a forma de esgotos ou resíduos orgânicos quaisquer.

Na prática, a DBO é medida diretamente, em amostras do esgoto que vai ser lançado no corpo d'água, ou na água já poluída (após receber o esgoto).

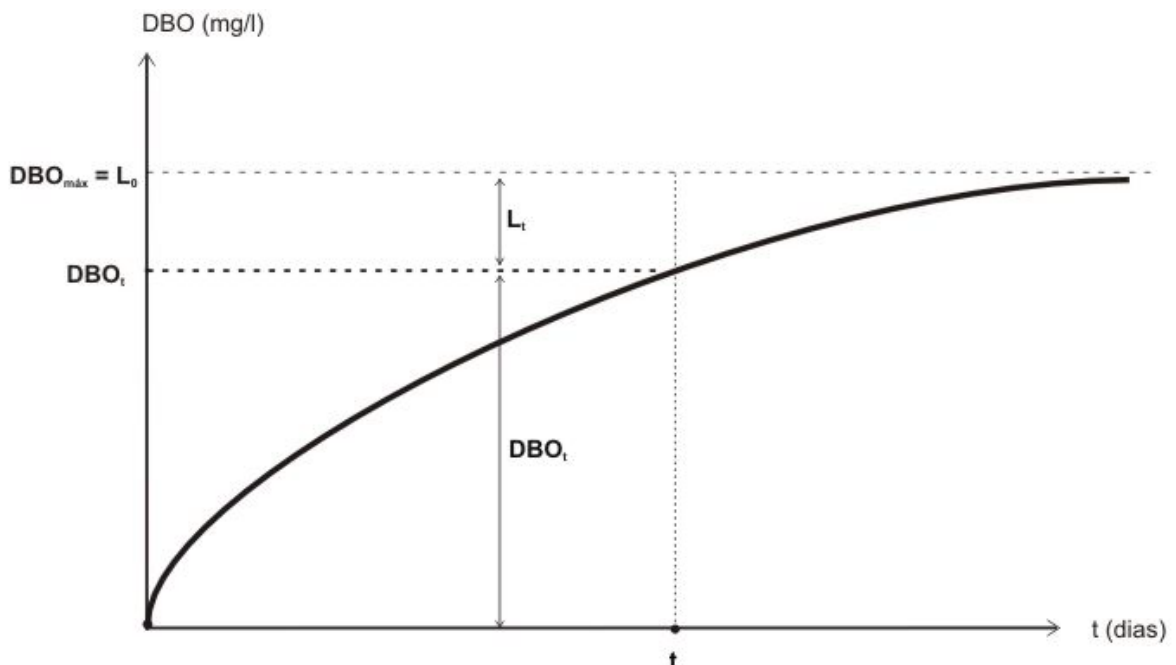


Fig. 2 Determinação da DBO

Como a oxidação aeróbica de toda a matéria orgânica presente numa amostra pode demorar muitos dias, convencionou-se medir a DBO num período de 5 dias. Neste período, compostos orgânicos simples, como a glicose, foram inteiramente oxidados, mas o esgoto doméstico sofre uma oxidação de aproximadamente 65% da matéria orgânica presente. Sempre que a DBO for medida em um número diferente de dias, isto deve ser indicado. Ex.: DBO<sub>10</sub> significa DBO medido em 10 dias.

Assumindo que a DBO é uma reação de 1ª ordem, onde a velocidade de oxidação é diretamente proporcional à concentração de matéria orgânica restante:

$$\boxed{dL / dt = -K_1 L} \quad \text{onde: } \left\{ \begin{array}{l} L = \text{concentração de matéria orgânica} \\ \text{remanescente (DBO remanescente) e} \\ K_1 = \text{constante de reação.} \end{array} \right.$$

Integrando:  $L / L_0 = e^{-K_1 t}$  onde:  $L_0 = \text{DBO máx.}$

Usando  $\log_{10}$  ao invés de  $\log_e$  :

$$\boxed{L / L_0 = 10^{-k_1 t}} \quad \text{onde: } k_1 = 0,4343 K_1 = \text{constante de degradação}$$

$$\boxed{DBO_t = L_0 - L = L_0 (1 - 10^{-k_1 t})}$$

O valor de  $k_1$  comanda a velocidade da oxidação, e pode ser usado para caracterizar a biodegradabilidade de uma substância.

Para o esgoto doméstico:  $k_1 = 0,17/d$  , a 20 °C.

Para outra temperatura  $t$ , pode-se calcular o valor através das formulas:

$$\boxed{k_t = k_{20} \times 1,047^{(t-20)}}$$

$$\boxed{L_t = L_{20} [ 1 + 0,02 ( t - 20 ) ]}$$

Na prática, a forma da curva de DBO é modificada em virtude do oxigênio que é consumido na nitrificação. Entretanto, devido ao lento crescimento das bactérias nitrificantes, esse efeito não é normalmente importante até 8 a 10 dias após o início da degradação da matéria orgânica. No caso de efluentes de estações de tratamento de esgotos, este efeito pode ser notado após um ou dois dias após a descarga no curso d'água, devido ao grande número de bactérias nitrificantes no efluente.

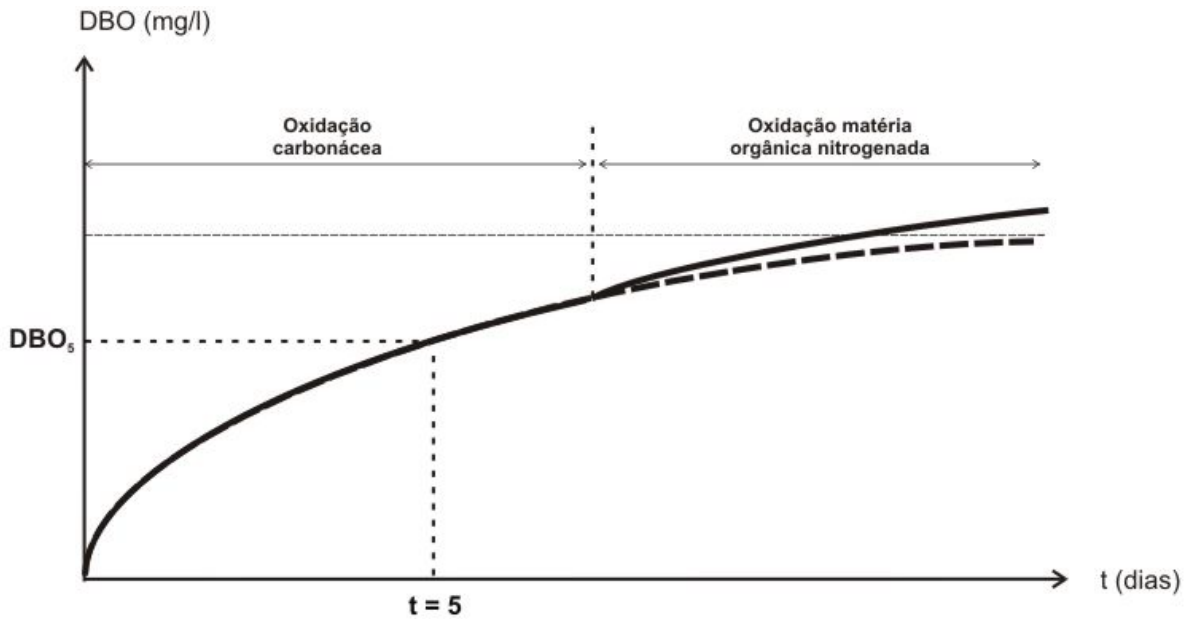


Fig. 3 Demanda de oxigênio na nitificação

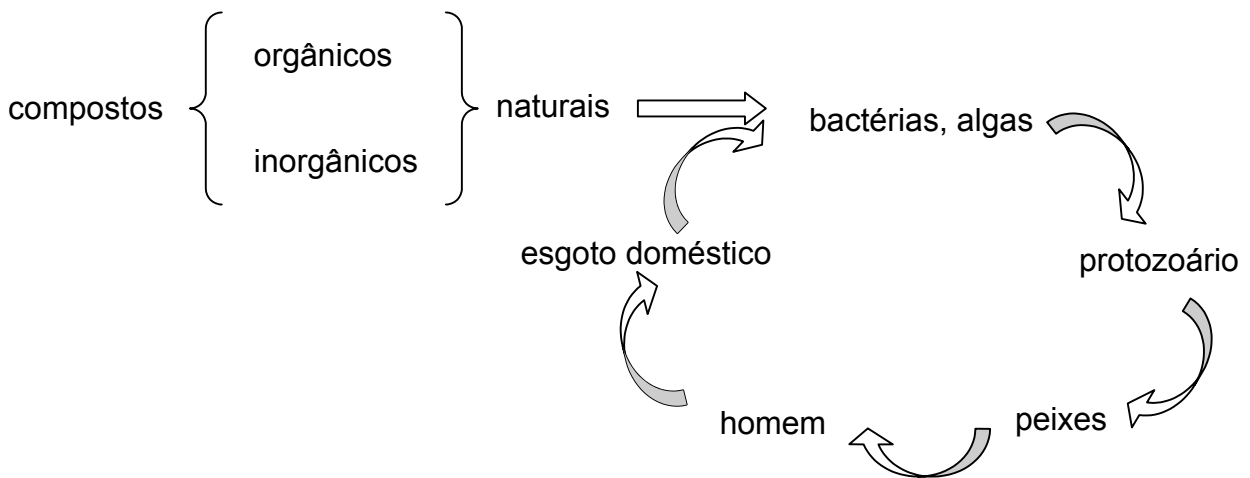
Geralmente,  $DQO > DBO$ . Através destas duas medidas, podemos avaliar o grau de biodegradabilidade de um despejo qualquer. Um despejo com  $DBO = 300 \text{ mg/l}$  e  $DQO = 450 \text{ mg/l}$  (semelhante ao esgoto doméstico) é muito mais biodegradável que um despejo com  $DBO = 100 \text{ mg/l}$  e  $DQO = 800 \text{ mg/l}$ . Quanto maior for a razão  $DQO/DBO$ , menor é a biodegradabilidade da substância em questão (acima de 2 começa a ser considerada pouco biodegradável ( despejo de fábrica de café solúvel:  $DQO = 17.800 \text{ mg/l}$  e  $DBO = 7.500 \text{ mg/l}$ ).

## 5. Autodepuração dos Cursos de Água

### 5.1 Autodepuração

Qualquer corpo d'água pode assimilar uma certa quantidade de matéria orgânica biodegradável sem sérios efeitos para a qualidade e usos da água: é a capacidade natural de autodepuração.

Ciclo de Autodepuração:



A assimilação de matéria orgânica em corpos d'água é uma atividade natural e pode ser inclusive benéfica para os peixes. Somente quando a capacidade de autodepuração é excedida é que problemas ocorrem (poluição, com mortandade de peixes e mau cheiro).

A autodepuração envolve um ou mais dos seguintes processos:

- a. sedimentação, auxiliada por floculação biológica ou mecânica. Quando a sedimentação é excessiva, pode ser formado um depósito anaeróbico no fundo (lodo), que, ao ser remexido (vento, enchentes), pode exercer uma grande demanda de oxigênio (exemplo: Lagoa Rodrigo de Freitas);
- b. oxidação química de agentes redutores (como o  $H_2 S$ );
- c. redução do número de bactérias, devido às condições impróprias do corpo d'água (temperatura, tipo e quantidade de alimento, etc.);
- d. oxidação bioquímica, que é o processo mais importante.

Para a prevenção da poluição (mortandade de peixes, mau cheiro, aspecto desagradável), é necessário que as condições aeróbicas sejam mantidas.

A quantidade de oxigênio dissolvido na água (OD) é influenciada por vários fatores, como temperatura, DBO, salinidade, e principalmente a reaeração.

### 5.2 Reaeração

Sempre que o OD num corpo d'água cai abaixo do limite de saturação, e havendo contato com a atmosfera, mais oxigênio do ar será dissolvido na água, tendendo novamente à saturação.

A velocidade com a qual o oxigênio do ar é dissolvido na água é proporcional ao "déficit" com relação à saturação.

$$dD/dt = - K_2 D$$

onde:  $\left\{ \begin{array}{l} D = \text{déficit de OD num instante } t; \\ D_0 = \text{déficit inicial de OD}; e \\ K_2 = \text{constante de reaeração} \end{array} \right.$

$$\text{logo: } D = D_0 e^{-K_2 t}$$

Expressando em termos de concentrações de O.D.:

$$\log_e \frac{C_s - C}{C_s - C_0} = - K_2 t$$

onde:  $\left\{ \begin{array}{l} C = \text{OD no instante } t, \\ C_0 = \text{OD inicial}, e \\ C_s = \text{OD de saturação} \end{array} \right.$

A reaeração é também diretamente proporcional à área da interface ar - água e à velocidade (turbulência) da água.

$$f = K_2 V/A$$

onde:  $\left\{ \begin{array}{l} f = \text{coeficiente de troca}, \\ V = \text{volume de água abaixo da interface} \\ A = \text{área da interface ar} \end{array} \right.$

Um aumento da temperatura de  $1^\circ C$ , aumenta o valor de  $f$  em cerca de 2%. Da mesma forma, para temperaturas mais baixas, a velocidade de reaeração é menor:

| <b>Tipo de curso d'água</b>                  | <b>f (mm/h)</b> |
|----------------------------------------------|-----------------|
| Água estagnada                               | 4 a 6           |
| Água a 0,6 m/min                             | 10              |
| Água a 10 m/min                              | 75              |
| Água a 15 m/min                              | 300             |
| Água descendo declividade de 30 <sup>0</sup> | 700 - 3000      |
| Mar aberto                                   | 130             |

### 5.3 Características dos esgotos que interferem na autodepuração

- a.** compostos tóxicos, que provocam a destruição ou inibição da atividade biológica na água. A maioria destes tóxicos provêm dos despejos industriais e das atividades agrícolas:
- metais pesados, fenóis, pesticidas etc.
- b.** materiais que afetam o balanço de oxigênio na água:
- substâncias que consomem o OD: podem ser matéria orgânica biodegradável (alta DBO, como o vinhoto) ou agentes redutores inorgânicos;
  - substâncias que impedem ou dificultam a reoxigenação da água: óleos, detergentes etc.;
  - descargas aquecidas (ex: termelétricas) que reduzem a solubilidade do oxigênio na água;
  - altas concentrações de sólidos inertes em suspensão ou dissolvidos (ex. atividades de mineração).

### 5.4 Curva de queda de oxigênio.

Quando uma carga poluidora (como os esgotos de uma cidade) é lançada num curso d'água, a quantidade de OD vai sofrer uma queda que depende da diluição (intensidade da poluição) e das condições de reaeração. Supondo a água inicialmente saturada com oxigênio, assim que o esgoto é lançado no curso d'água a DBO começa a ser exercida, o OD cai abaixo do nível de saturação, e a reaeração se inicia. Quanto maior for o déficit de OD, maior será a velocidade de reoxigenação, até que no ponto crítico as velocidades de consumo de oxigênio (pela DBO) e de reoxigenação são igualadas. O OD atingiu neste ponto o seu valor mínimo (ponto crítico), e a partir daí ele irá aumentar. No exemplo da Fig. 4, o OD já estava abaixo do nível de saturação e sofre uma queda instantânea no ponto lançamento do esgoto.

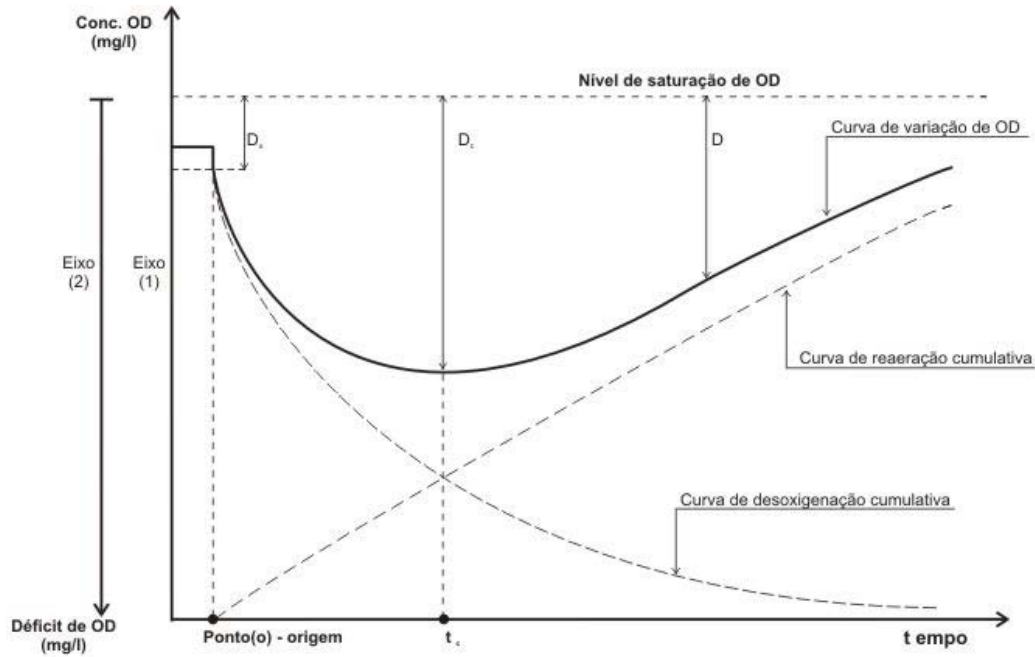


Fig. 4 Composição da curva de variação do OD, segundo Streeter & Phelps.

Supondo que os únicos processos envolvidos são a remoção de DBO (com o conseqüente consumo de oxigênio) e a reoxigenação pela interface ar - água:

$$dD/dt = K_1 \cdot L - K_2 \cdot D$$

(Streeter & Phelps) onde:

- D = déficit de OD no instante t,
- L = DBO remanescente,
- K<sub>1</sub> = constante de reação da DBO,
- K<sub>2</sub> = constante da reeração.

Integrando e mudando para a base 10 (k = 0,4343 K):

$$D_t = k_1 \cdot L_0 / k_2 - k_1 ( 10^{-k_1 \cdot t} - 10^{-k_2 \cdot t} ) + D_0 \cdot 10^{-k_2 \cdot t}$$

O ponto crítico (ponto de déficit máximo) é dado pela expressão:

$$dD / dt = K_1 \cdot L - K_2 \cdot D_c = 0 \quad \text{donde:} \quad D_c = (k_1 / k_2) \cdot L_0 \cdot 10^{-k_1 \cdot t_c}$$

$$e \quad t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \log \left\{ \frac{k_2}{k_1} \left[ 1 - \frac{D_0 (k_2 - k_1)}{L_0 \cdot k_1} \right] \right\}$$

As equações acima só podem ser aplicadas até o ponto onde houver uma nova descarga de matéria orgânica (esgotos de outra cidade) ou um aumento da vazão provocada por um rio afluente (que pode estar mais ou menos poluído que o rio X).

Exemplo: Um rio X recebe o despejo dos esgotos domésticos de uma cidade Y. Três hipóteses (curvas A, B e C) podem acontecer, dependendo da relação entre os volumes do rio e do lançamento dos esgotos, e suas condições iniciais de OD (Fig. 5).

Na hipótese da curva A, o rio X estava com as suas águas saturadas de oxigênio (OD de saturação = 10 mg/l), tem uma vazão  $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$  e uma DBO inicial de 2 mg/l. Recebe os esgotos da cidade Y, com uma vazão  $Q = 3,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , OD = zero e DBO = 300 mg/l. Imediatamente após o ponto de lançamento, o OD e a DBO das águas rio passam a ser:

$$OD_{\text{mistura}} = \frac{Q_{\text{rio}} \times OD_{\text{rio}} + Q_{\text{esgoto}} \times OD_{\text{esgoto}}}{Q_{\text{rio}} + Q_{\text{esgoto}}} = \frac{50 \times 10 + 3,1 \times 0}{50 + 3,1} = 9,41 \text{ mg/l}$$

$$DBO_{\text{mistura}} = \frac{Q_{\text{rio}} \times DBO_{\text{rio}} + Q_{\text{esgoto}} \times DBO_{\text{esgoto}}}{Q_{\text{rio}} + Q_{\text{esgoto}}} = \frac{50 \times 2 + 3,1 \times 300}{50 + 3,1} = 20 \text{ mg/l}$$

A curva A da Figura 5 representa uma poluição leve, a curva B uma poluição pesada e a curva C uma poluição grave ou total.

Além da remoção do OD pela degradação da matéria orgânica e da reposição de  $O_2$  pela atmosfera, vários outros fatores podem afetar a curva de oxigênio num rio, como a sedimentação da matéria orgânica (reduz a DBO), o consumo de  $O_2$  por difusão no lodo do fundo (quando o lodo é revolvido, aumenta a DBO e o consumo de  $O_2$ ), a adição de OD pela atividade fotossintética das plantas durante o dia, o consumo de OD pelas plantas durante a noite, e a constante redistribuição de OD e DBO por dispersão longitudinal. Em lagos e rios de baixa velocidade, a sedimentação da matéria orgânica pode reduzir a DBO, mas o revolimento do lodo do fundo proveniente desta sedimentação (ventos fortes ou mudanças climáticas) pode aumentar rapidamente a DBO, aumentando portanto o consumo de oxigênio dissolvido na água (caso da Lagoa Rodrigo de Freitas).



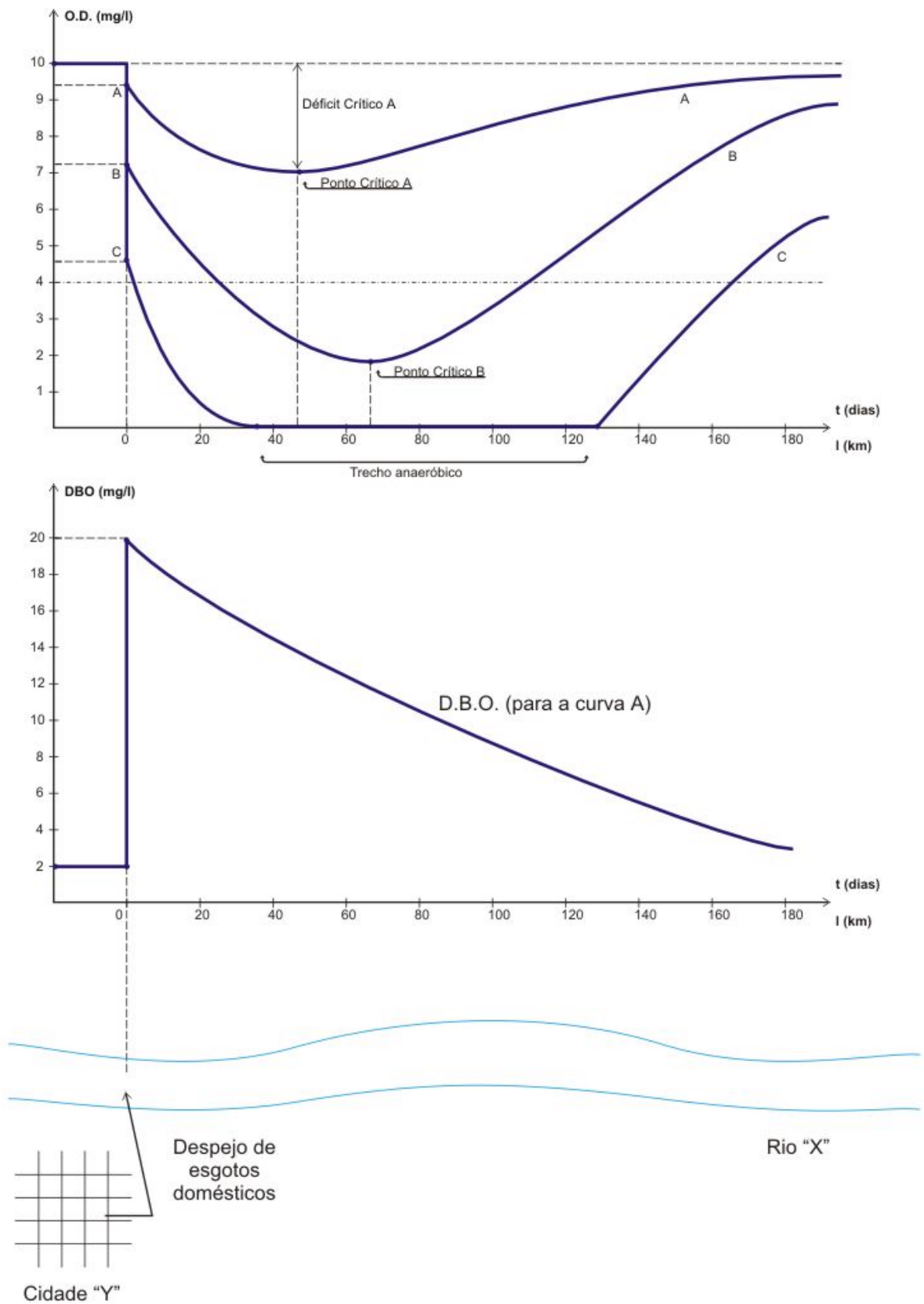


Fig. 5 - Curva de queda de oxigênio.

## 6. Substâncias Tóxicas e seus Efeitos

Listamos a seguir alguns dos principais poluentes químicos da água, de origem industrial, e seus efeitos sobre a saúde. O grande perigo do lançamento de substâncias tóxicas não biodegradáveis no ambiente está na possibilidade da concentração ao longo da cadeia alimentar. Por exemplo, o DDT e o mercúrio, este sob a forma de metilmercúrio, podem introduzir-se nas cadeias alimentares através das plantas aquáticas, algas, espécies inferiores de animais, peixes e aves aquáticas, com um fator de concentração de um extremo a outro que pode variar de 3.000 a 10 milhões de vezes.

É impossível generalizar os perigos dos metais para a saúde humana, porque as velocidades de eliminação dos diversos compostos metálicos pelos organismos são diferentes. Enquanto o metilmercúrio tem uma meia vida no organismo acima de 70 dias, a meia vida do cádmio é de até 20 anos).

- a. Mercúrio (Hg): está presente no despejo industrial de algumas atividades, como a indústria metalúrgica (amalgamas), refino de mercúrio, indústrias químicas, de plásticos, eletrônicas etc.. O Hg elementar e a maioria de seus derivados podem ser letais para o homem, animais e plantas. Em geral, os compostos orgânicos de mercúrio são mais tóxicos que o vapor dos compostos inorgânicos. A doença mais freqüente provocada pelo Hg é o hidrargismo, doença crônica que afeta o sistema nervoso.

É bastante conhecida a doença de Minamata, no Japão, provocada por uma fábrica de produtos químicos (cloro), que lançava na Baía de Minamata pequenas quantidades de mercúrio. Mais de 50 pessoas morreram e cerca de 500 apresentaram desordens neurológicas. As indenizações pagas às vítimas desta doença ultrapassaram 60 milhões de dólares e todas as fábricas que utilizavam o mesmo processo de produção foram obrigadas a troca-lo pelo processo de diafragma, que não emprega mercúrio.

- b. Cádmio (Cd): está presente nos despejos de galvanoplastia, soldagem de materiais de cádmio, certas indústrias químicas, mineração (de zinco, chumbo e cobre), e metalurgia, etc..

Entre as doenças provocadas pela intoxicação crônica por cádmio estão a proteinúria, lesões nos rins e a osteomalacia. Em Toyama, no Japão, a água de arrozais, contaminada por cádmio proveniente de uma mineração próxima, provocou a doença conhecida por "itai-itai" (ai, ai), em função dos dolorosos sintomas de fraturas múltiplas produzidas pela osteomalacia.

- c. Cromo (Cr): é proveniente de indústrias metalúrgicas, galvanoplastia e indústrias químicas. O cromo hexavalente é irritante, corrosivo e tóxico, provocando lesões nos tecidos do corpo e, em alguns casos, câncer.
- d. Nitratos, nitritos e compostos nitrosos: são resultantes das atividades de indústrias químicas e de fertilizantes nitrogenados. O consumo de água ou alimento preparado com elevadas concentrações de nitratos podem causar a meta-hemoglobinemia infantil (doença azul). As nitrosaminas e nitroso-uréias são poderosos carcinógenos para muitas espécies animais.

## 7. Poluição dos Mares

Quase toda poluição dos mares é proveniente de fontes baseadas em terra (fábricas, cidades, atividades agrícolas). No final dos anos 70, o Rio Reno descarregava por ano no Mar do Norte (uma das áreas marinhas mais severamente poluídas do mundo) cerca de 80 mil toneladas de ferro, 50 mil toneladas de óleo mineral, 20 mil toneladas de zinco e 100 toneladas de mercúrio.

A poluição pelo óleo, em virtude dos despejos acidentais e das descargas de petroleiros (lavagem dos tanques), tem conseqüências desastrosas sobre a flora e a fauna marinhas. A lavagem dos tanques de petroleiros chegou a atingir mais de 2 milhões de toneladas de óleo por ano, e foi sensivelmente reduzida nos últimos anos pelos regulamentos internacionais aprovados.

Em janeiro de 2000, um acidente com rompimento de um duto de bombeamento derramou 1,5 milhões de toneladas de óleo na Baía de Guanabara, provocando a morte de peixes, caranguejos e aves, com graves conseqüências ambientais, sociais (os pescadores ficaram sem poder trabalhar) e econômicas.

O oceanógrafo Jacques Cousteau, no início dos anos 70 declarava, referindo-se à poluição do Mar Mediterrâneo, que "as comunidades marinhas já estão perturbadas e a vida diminuiu de 30 a 50% até uma profundidade de pelo menos 500 metros. O homem apenas começa a explorar e conhecer os mares, e já descobriu que ele está morrendo". Para combater este problema, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA criou em 1975 o Programa de Mares Regionais. Em 1995, em uma reunião convocada pelo PNUMA, em Washington, os países presentes resolveram criar o Plano de Ação Global contra a poluição dos mares provocada por fontes terrestres.

## 8. Tratamento de Esgotos Domésticos e Industriais.

### 8.1 Tipos de Tratamento

#### 8.1.1 Tratamento físico:

- a. Gradeamento, para remoção de sólidos grosseiros (pedaços de madeira, plásticos, etc.);
- b. Caixas de areia, para separar por sedimentação partículas de areia;
- c. Decantação, para a separação de sólidos decantáveis ou para a separação duas fases líquidas heterogêneas (exemplo: separadores de óleos usados em postos de gasolina);
- d. Flotação, para a remoção de óleos e gorduras dos efluentes.

#### 8.1.2. Tratamento químico:

É realizado através de reações de oxidação, redução, neutralização e precipitação dos poluentes. Incluem-se aqui também os tratamentos com resinas trocadoras de íons.

#### 8.1.3 Tratamentos biológicos:

Utilizam bactérias para a degradação da matéria orgânica presente no esgoto doméstico ou no despejo industrial.

Os tipos convencionais de tratamento biológico são:

- a. Lagoas de estabilização, que podem ser fotossintéticas ou anaeróbicas.

As lagoas fotossintéticas podem ser estritamente aeróbicas ou facultativas (apresentam degradação aeróbica na superfície e anaeróbica no fundo). São de fácil operação e baixo

custo de implantação e manutenção, mas necessitam uma grande área de superfície (eficiência para a remoção de DBO: 75 a 95%).

As lagoas anaeróbicas tem profundidade maior, e a degradação da matéria orgânica é realizada sem a presença de oxigênio dissolvido. (eficiência para remoção de DBO: 50 a 70%).

As lagoas de estabilização podem ser utilizadas em série, como anaeróbica - fotossintética, para redução da área total necessária.

Para reduzir a área total necessária, podemos usar lagoas aeradas, que usam aeradores superficiais fixos ou flutuantes, ou difusores de fundo, com ar comprimido (eficiência para remoção de DBO: de 55 a 90%).

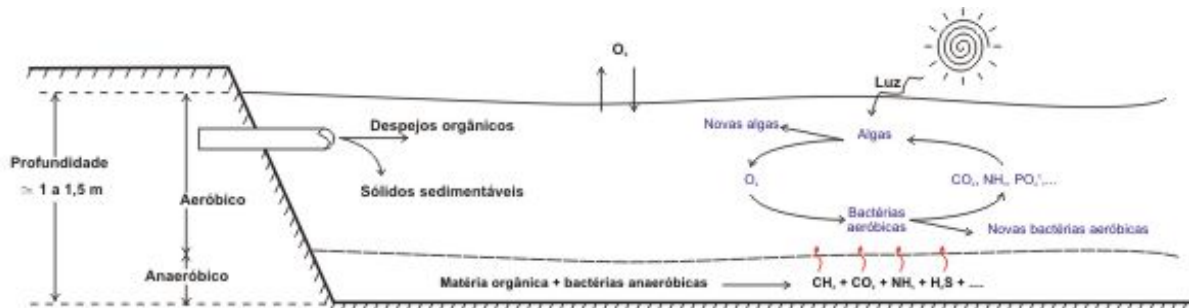


Fig. 6 Lagoa de estabilização facultativa

#### b. Filtração biológica

O esgoto é pré-decantado e distribuído sobre toda a superfície de um leito de pedras ou outro material de enchimento (geralmente plástico). O esgoto percola pelas pedras em presença do ar ambiente (eficiência para remoção de DBO: de 70 a 95%).

#### c. Lodos Ativados.

Os resíduos líquidos são misturados com determinado volume de lodo ativo (com alta concentração de bactérias), que é mantido em suspensão pela agitação provocada pelo sistema de aeração (que garante quantidade adequada de oxigênio dissolvido). Durante o processo, grande parte das substâncias coloidais floculam e são sedimentadas num decantador secundário.

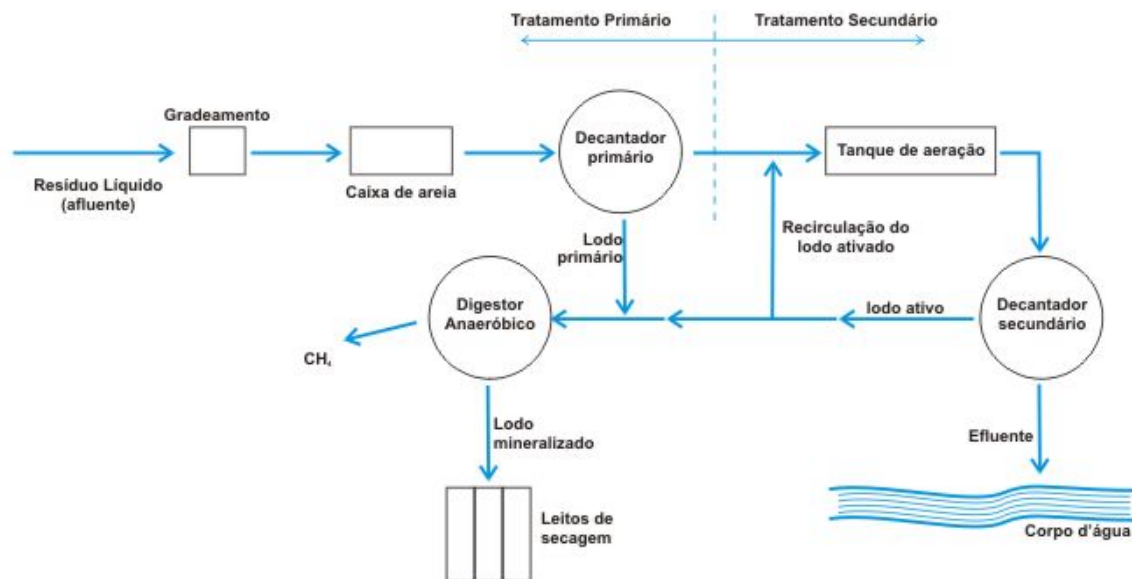


Figura. 7: Estação de tratamento por lodos ativados

## 8.2 Eficiência dos vários tipos de tratamento

| Tipo de Tratamento                  | Redução (%) |            |
|-------------------------------------|-------------|------------|
|                                     | DBO         | Coliformes |
| a) Tratamento Primário              | 25 a 40     | 40 a 60    |
| b) Tratamento Secundário            |             |            |
| Lagoas de Estabilização Facultativa | 75 a 95     | 80 a 99    |
| Filtração Biológica                 | 70 a 95     | 80 a 90    |
| Lodos Ativados                      | 85 a 95     | 90 a 96    |
| c) Tratamento Terciário             | 95 a 99     | 90 a 99    |

## 9. Poluição Térmica

As descargas de calor (águas aquecidas) nas águas dos rios, lagos, baías e estuários, alteram o seu regime natural, provocando mudanças na flora e na fauna local. A elevação da temperatura da água reduz a solubilidade do oxigênio, acelera a velocidade das reações químicas, aumenta o ritmo metabólico dos peixes e outros organismos aquáticos e amplifica gosto e odor, tornando difícil a sobrevivência de peixes e de outras formas de vida aquática. É o que chamamos de poluição térmica.

Para alguns organismos aquáticos, o metabolismo é acelerado segundo o princípio de van't Hoff: "A velocidade das reações químicas aumenta com a elevação da temperatura, em geral dobrando a cada incremento de 10 °C." A aceleração do metabolismo aumenta a necessidade de oxigênio dos animais aquáticos, aumentando também, em consequência, seu ritmo de respiração. Os salmões por exemplo, quando submetidos à temperatura máxima a que podem resistir, consomem quatro vezes mais oxigênio que o normal. Como a hemoglobina, que fixa o oxigênio e o transporta até as células tem sua afinidade com o oxigênio reduzida com o

aumento de temperatura, a respiração torna-se também mais difícil. Entretanto, se as mudanças forem feitas lentamente, os animais aquáticos são capazes de aclimatar-se a temperaturas diferentes das naturais, principalmente a temperaturas mais elevadas. Tanto para temperaturas mais baixas quanto para mais elevadas que a temperatura natural, os organismos aquáticos têm limites letais à sua resistência.

Para minimizar os efeitos da poluição térmica, exige-se das usinas de geração de energia, ou fabricas que despejem águas aquecidas, que instalem torres de resfriamento. O esquema ao lado mostra uma torre "seca" de resfriamento, que pode ter ventilação forçada ou natural.

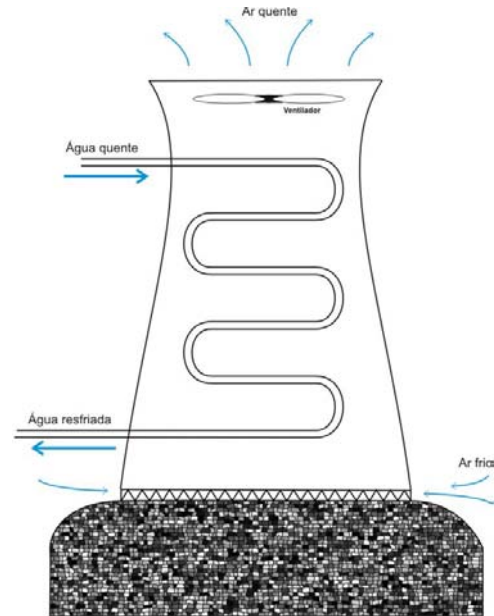


Fig. 8 Torre seca de resfriamento

---

## 10. Bibliografia

- Bathia, R. and Falkenmark, M. 1993. "Water resources policies and the urban poor: Innovative approaches and policy imperatives", Water and Sanitation Currents, United Nations Development Programme - World Bank Water and Sanitation Program, Washington D.C., World Bank.
- Darwin r., Tsigas M., LeandrowiskJ. And Raneses A., 1995. "World Agriculture and Climate Change, Aconomics Adaptations", Agricultural Economic Report n. 703, United States Department of Agriculture, Washington DC.
- Dziegielewki B., and Baumann D, 1992, "The Benefits of Managing Urban Water Demands", Environment, Volume 34, n. 9, November 1992, USA.
- Engelman R. and LeRoy P., 1993, "Sustaining Water, Population and the Future of Renwable Water Supplies", Population Action International, Washington DC.
- IRC 1994, "Special Issue: Implementing Agenda 21: Ministerial Conference on Drinking Water and Environmental Sanitation", Water Newsletter, n. 223, April 1994, International Water Supply and Sanitation Centre, The Hague, The Netherlands.
- IRC 1997, "The World's Water: Is There Enough? World Water Day for 1997", Water Newsletter, n. 247, February 1997, International Water Supply and Sanitation Centre, The Hague, The Netherlands.
- Morita T., Kainuma M., Harasawa H., Kai K., and Matsuota Y., 1995. "Long Term Global Scenarios based on the AIM model", AIM Interim Paper. IP-95-03, National Institute of Environmental Studies, Nagoya Japan.
- UNEP, 1992, "The World Environment 1972-1992: Two decades of Challenge", Chapman Hali, London.
- OMS, 1992, na Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente, Dublin, Irlanda, 26 a 31 de janeiro de 1992.
- World Bank, 1993, "Water Resources Management", World Bank's Publications, Washington DC.