
2ª Parte

DEGRADAÇÃO E CONSERVAÇÃO DO MEIO AMBIENTE

9. INTRODUÇÃO À POLUIÇÃO

A compreensão do processo de **degradação do meio ambiente** passa pela análise da interação entre as ecologias natural e humana. Desde o surgimento na biosfera, o homem destacou-se dos demais seres vivos pela sua capacidade de engenho e aprendizagem. Com isso, passou a conquistar novos habitats, desenvolver novos nichos e nesse processo evolutivo, muito mais tecnológico do que biológico, passou a olhar o ambiente como sendo parte externa e não como elemento componente. Como consumidor, criou o ciclo humano de materiais à parte dos ciclos naturais. Porém, a manutenção desse ciclo humano depende da manutenção dos ciclos naturais, pois todas as “entradas” no ciclo de produção de bens para satisfazer o consumo humano vêm dos ecossistemas naturais e todas as “saídas” do ciclo humano se convertem em “entradas” no ciclo natural de materiais (Figura 9.1).

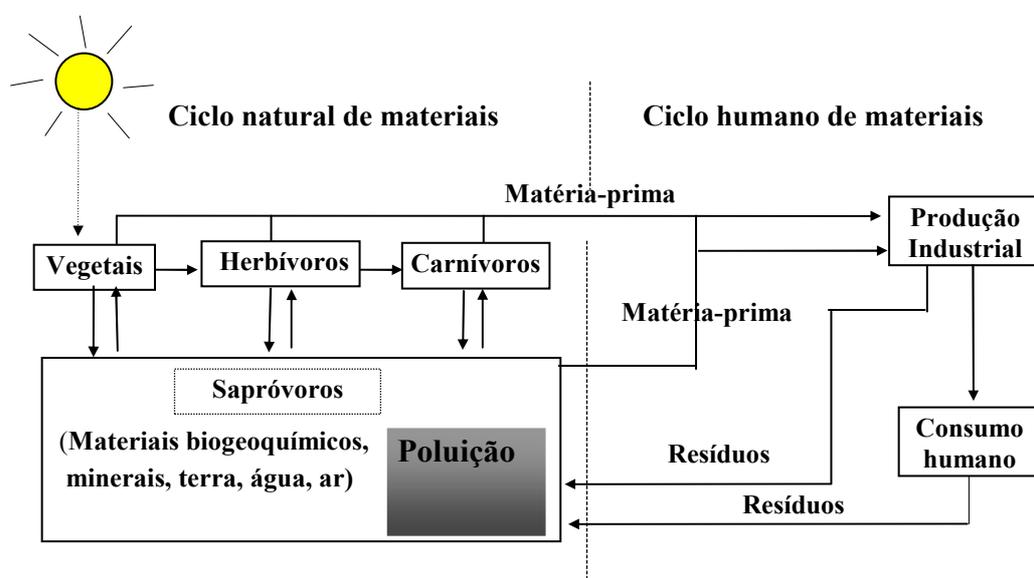


Figura 9.1: Interação das ecologias natural e humana.
(adaptada de EDMUNDS, S e LETEY, 1975).

Tanto o ciclo natural como o ciclo humano estão submetidos às leis da natureza e estas permanecem invariáveis ao longo do tempo. Como exemplos citam-se as leis físicas da conservação de energia - primeira Lei da Termodinâmica - e da entropia - segunda Lei da Termodinâmica. A primeira assegura que a energia pode transformar-se, porém não se cria nem se destrói, e a segunda institui que todas as “máquinas” se desgastam, conceitos que se aplicam tanto à ecossfera quanto à tecnosfera¹. A esta última acrescenta-se ainda as leis criadas pelo homem. Estas, que regulam as sociedades e as economias, são variáveis de acordo com as circunstâncias e com o tempo.

Analisando o ciclo natural, lado esquerdo da figura 9.1, constata-se que além dos resíduos naturais que retornam à sua base biológica, estão os manufaturados, que procedem da atividade produtiva do homem, acrescidos daqueles provenientes do seu próprio metabolismo. Tais resíduos, para voltarem ao processo produtivo, vão depender da capacidade de reciclagem dos ciclos naturais. Muitos deles são substâncias inorgânicas e o resto são compostos orgânicos, alguns dos quais não biodegradáveis, que se convertem em contaminantes da base biogeoquímica e, seja pela quantidade ou pela qualidade, contribuem para a degradação do ambiente. Por outro lado, as “saídas” dos ciclos naturais para abastecer os ciclos humanos através da mineração, desmatamento, queimada, construção de hidrelétricas, agricultura e pecuária intensiva, etc., causam pressões que contribuem para a degradação do ambiente. Como resultado da soma das pressões sobre o meio ambiente tem-se a poluição ambiental.

O que seria então poluição ambiental? Originalmente, poluição significa sujeira (do latim *poluere* = sujar), porém no contexto atual é mais que isso: **poluição ambiental** é a degradação da qualidade ambiente com prejuízos à qualidade de vida humana ou, mais especificamente, **qualquer alteração na composição e características do ambiente que, direta ou indiretamente, impeça ou dificulte a sua utilização**. Obviamente, este conceito é bem antropocêntrico, uma vez que coloca o homem como centro, já que a utilização do ambiente está atrelada à manutenção do ciclo humano de materiais. Por outro lado, é um conceito mais prático, uma vez que a composição e características do ambiente podem ser avaliadas conferindo um grau de qualidade ao ambiente ou a um dado recurso ambiental, assegurando o seu uso.

Analisando o lado direito da figura 9.1, pode-se constatar que quanto maior for a população, maior será o consumo de alimentos, energia, água, minerais, etc. e, conseqüentemente, maior será a pressão sobre os ecossistemas naturais e maior a degradação da biosfera, ou seja, maior a poluição ambiental. Donde se conclui que o crescimento populacional pode ser apontado como causa maior da degradação ambiental. Rico polui, pobre também polui. Este por necessidade de sobrevivência, aquele, muitas vezes por ganância. Porém, a população não pode crescer indefinidamente, pois está limitada à **capacidade de suporte** do planeta. A capacidade de suporte para a vida humana varia de acordo com a forma como o homem maneja os recursos naturais, podendo ser melhorada ou piorada pelas atividades humanas. Cria-se assim um ciclo vicioso, onde a população crescente polui o ambiente e o ambiente assim degradado vai perdendo a sua capacidade de suporte.

¹ Mundo das máquinas e construções criadas pelo homem, regido por leis econômicas, sociais, culturais, mas que também seguem as leis da física, da química, da biologia e da ecologia.

9.1. CICLO DA POLUIÇÃO

O processo básico da poluição na Natureza obedece a três fases distintas a saber:

- ◆ **1ª fase:** ocorre a geração e a emissão de poluentes pelas diversas fontes poluidoras existentes;
- ◆ **2ª fase:** ocorre o transporte e a difusão desses poluentes no ambiente. Nesta fase, as águas e os ventos, dentre outros fatores, têm papel preponderante;
- ◆ **3ª fase:** ocorre o contato dos poluentes com o homem, os animais, os vegetais, os bens materiais, etc., prejudicando, direta ou indiretamente, o homem e ficando assim caracterizada a poluição ambiental.

Os programas voltados para o controle da poluição ambiental devem, de preferência, atacar o problema da poluição na sua 1ª fase, isto é, controlar as fontes poluidoras. Entende-se por **fonte poluidora** qualquer equipamento, processo ou atividade capaz de gerar e emitir poluentes. O **poluente** é qualquer forma de matéria ou de energia que venha de maneira prejudicial, direta ou indiretamente, alterar as características do ambiente.

9.2. OS ONZE MAIORES POLUENTES MUNDIAIS

No estudo da poluição ambiental, onze poluentes destacam-se pela sua presença em todo o mundo. Cada um deles pode ser identificado pelo seu símbolo² internacional, que pode ser encontrado nas embalagens, nos locais de manuseio e de disposição.



1. Dióxido de Carbono - Presente na combustão de produtos carbonados diversos, em usinas termoeletricas, indústrias e aquecedores domésticos. A acumulação desse gás na atmosfera favorece ao Efeito Estufa.



2. Monóxido de Carbono - Resultante da combustão incompleta de materiais fósseis, tais como petróleo e carvão, em metalúrgicas, refinarias de petróleo e veículos automotores. Esse gás incolor e inodoro é extremamente tóxico para o homem.

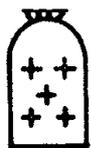


3. Dióxido de Enxofre - Emissões de centrais elétricas, indústrias, veículos automotores e combustíveis domésticos freqüentemente carregados de ácido sulfúrico. O ar poluído agrava as afecções respiratórias, ataca árvores e plantas, certos tecidos sintéticos e pedras calcárias empregadas em construções e em monumentos históricos. Favorece ao fenômeno da Chuva Ácida.



4. Óxidos de Nitrogênio - Provêm de motores a combustão, aviões, incineradores, do emprego excessivo de certos fertilizantes, de queimadas e de instalações industriais. Causam nevoeiros, podem provocar afecções respiratórias e bronquites em recém-nascidos. Favorecem ao fenômeno da Chuva Ácida.

² Extraídos de *Symbol Sourcebook*, Nova York, 1972.



5. **Fosfatos** - Encontrados em esgotos, provenientes principalmente de detergentes. Encontrados também em águas que escoam de terras excessivamente tratadas com fertilizantes e de terras onde se pratica a pecuária intensiva. Fator principal (eutrofizante) da degradação das águas de lagos e rios.



6. **Mercúrio** - Provém de combustíveis fósseis, da indústria de cloro-álcalis, de fábricas de aparelhos elétricos e de tintas, de atividades de mineração e refino e da indústria de papel. O mercúrio é forte contaminante de alimentos, principalmente peixes e crustáceos. Sua assimilação afeta o sistema nervoso.



7. **Chumbo** - Proveniente principalmente de usinas de refinação de chumbo, de aditivos antidetonantes da gasolina, de indústrias químicas e de pesticidas. É um veneno que se acumula no organismo, afeta as enzimas e prejudica o metabolismo celular. Armazena-se em sedimentos marinhos e de água doce.



8. **Petróleo** - Poluente originado, principalmente, de descargas ou acidentes com navios petroleiros e, da extração e do refino de petróleo. Os efeitos ecológicos são desastrosos nas águas - poluição de praias, envenenamento do plâncton e da fauna marinhos. Impede a penetração de luz, o que afeta a flora e gera anaerobiose.



9. **DDT e outros pesticidas** - Proveniente, principalmente, do uso na agricultura e em campanhas de saúde pública. Na águas mata peixes, envenenando seu alimento, e contamina os alimentos ingeridos pelo homem. São altamente tóxicos para crustáceos, até em baixa concentração. Reduzem o número de insetos úteis, provocando o aparecimento de novas pragas. Alguns são cancerígenos.



10. **Radiações** - Produzidas principalmente pela utilização da energia nuclear, tanto para fins industriais como bélicos. Importantes na medicina e na pesquisa médica, podem no entanto causar malefícios orgânicos e até genéticos, quando usadas acima de certas doses.



11. **CFC** - O clorofluorcarbono, também conhecido como FREON, provém de produtos em spray (inseticidas, desodorantes, tintas, etc.), circuitos de refrigeração (geladeiras, ar condicionado), indústria de embalagens (isopor) e da indústria eletrônica (solvente). Apontado como destruidor da camada de ozônio.

9.3. CLASSIFICAÇÃO DA POLUIÇÃO

A poluição pode ser estudada sob diversos aspectos. As alterações podem ocorrer na água, no ar e no solo, classificando-se como poluição da água ou hídrica, do ar ou atmosférica e do solo, respectivamente. Nestes vários ambientes em que ocorre, pode apresentar-se de forma diferente, o que a classifica em: Química, Térmica, Biológica, Radiativa e Mecânica.

- ♦ **Poluição Química**. Esta forma de Poluição pode ser dividida em dois tipos: poluição química brutal e poluição química insidiosa ou crônica. A poluição química brutal é decorrente de descargas maciças de detritos industriais no meio ambiente, de substâncias tais como ácidos, ál-

calis, metais pesados, hidrocarbonetos, fenóis, detergentes, dentre outros. Caracteriza-se pelos seus efeitos brutais sobre o ambiente. Enquanto que a poluição química insidiosa ou crônica ocorre de maneira mais ou menos sistemática, com menor quantidade de poluentes. Seus efeitos são frequentemente intensificados devido à mistura de vários tipos de poluentes, que são bem mais nocivos quando agem sinergicamente com outros do que quando agem separadamente. Nesta categoria, estão incluídos os detergentes sintéticos, os subprodutos do petróleo, os pesticidas e resíduos químicos diversos.

- ◆ **Poluição Biológica ou Orgânica.** É aquela cujos poluentes se caracterizam por serem materiais orgânicos fermentáveis. Nesta categoria, são fontes poluidoras, principalmente, os esgotos domésticos, as indústrias de laticínios, os curtumes, os matadouros, as indústrias têxteis e de celulose.
- ◆ **Poluição Térmica.** Este tipo de poluição decorre da elevação da temperatura média do ambiente. Mais comum nos ambientes aquáticos, tem sua origem no aquecimento das águas utilizadas no resfriamento de reatores de usinas térmicas, nas centrais elétricas, nas refinarias de petróleo, destilarias, etc..
- ◆ **Poluição Mecânica.** É decorrente do deslocamento de grandes quantidades de argila, areia, calcário e escórias derivadas da dragagem de corpos d'água, da indústria de mineração, da abertura de estradas.
- ◆ **Poluição Radioativa.** Proveniente de fissões nucleares, tem sua origem nas explosões atômicas, acidentes de usinas nucleares e no lixo atômico. As águas utilizadas no resfriamento dos reatores atômicos, além de poluírem termicamente, são capazes de arrastar resíduos radioativos para rios e mares. Este tipo de poluição, devido ao longo tempo de vida média dos poluentes envolvidos, causa danos irreversíveis ao ambiente.

É possível analisar a poluição levando em consideração o aspecto econômico da região. Nas regiões subdesenvolvidas, aparece um tipo de poluição bem diverso daquele observado nas zonas desenvolvidas e em desenvolvimento. Os países pobres sofrem da chamada poluição "da miséria", ou seja, aquela devida à falta de saneamento básico, causadora da disenteria amebiana, febre tifóide, hepatite, esquistossomose, etc.. Já os países com grande desenvolvimento industrial e portanto com uma economia estável, podem combater eficientemente a poluição "da miséria", mas, em contrapartida, sofrem da poluição "tecnológica", às vezes mais violenta do que aquela combatida. As nações em desenvolvimento, com os recursos da agricultura e da indústria, vão se utilizando do saneamento básico, diminuindo a poluição "da miséria", mas aos poucos vão aumentando a poluição "tecnológica", através do uso de pesticidas e de muitos outros produtos industriais.

9.4. INDICADOR DE POLUIÇÃO E PADRÃO DE QUALIDADE

Na avaliação da poluição ambiental dois conceitos são particularmente importantes: o indicador de poluição e o padrão de qualidade ambiental.

- ◆ **Indicador de poluição** - É um parâmetro ou um grupo de parâmetros utilizado para medir o grau de poluição, seja da fonte poluidora ou do ambiente. São utilizados indicadores físicos, químicos e biológicos. Os líquens são bastante utilizados como indicadores de poluição atmosférica em alguns países. Outros indicadores muito comuns são: o pH, as bactérias e os nitratos usados tanto na água como no solo; a DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e o CO (monóxido de carbono), utilizados na avaliação da poluição hídrica e atmosférica, respectivamente.

- ◆ **Padrão de qualidade** - É um parâmetro ou grupo de parâmetros utilizado para diagnosticar a poluição ambiental. O padrão de qualidade fixa a quantidade ou a concentração aceitável de um poluente no ambiente. Seus valores são fixados por órgãos internacionais como a OMS (Organização Mundial da Saúde) e pelos órgãos de controle ambiental no país, seja a nível federal ou estadual.

9.5. ESQUEMA BÁSICO PARA AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO

Para facilitar o estudo da poluição ambiental propõe-se o seguinte roteiro básico, cuja seqüência deve ser observada:

1. Identificar as fontes poluidoras;
2. Associar poluentes às fontes poluidoras;
3. Escolher os indicadores de poluição que melhor representem os poluentes;
4. Comparar os indicadores de poluição com os padrões de qualidade ambiental esperados ou desejados para aquele ambiente;
5. Parecer sobre as condições ambientais avaliadas, isto é, sobre o grau de poluição no ambiente estudado.

9.6. EXERCÍCIO DE FIXAÇÃO 9

1. Como o ciclo humano de materiais pode interferir no ciclo natural?
2. Conceitue poluição ambiental.
3. Comente a frase “Rico polui por ganância, pobre por necessidade”.
4. Comente sobre o ciclo da poluição na natureza.
5. Liste três poluentes mundiais associando-os às suas fontes poluidoras.
6. Qual a diferença entre poluição química brutal e insidiosa?
7. Para que servem os padrões de qualidade e os indicadores de poluição?
8. Escolha um corpo d'água que você conheça e proceda um levantamento sanitário.

10. CRESCIMENTO POPULACIONAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Nunca a população mundial cresceu tão rápido quanto na segunda metade deste século. Hoje (1997), nascem três bebês por segundo, o que dá uma Alemanha por ano. Nos últimos 17 anos a população passou de 4,4 bilhões de habitantes a 5,8 bilhões. Isto tem caráter único entre todas as populações animais da biosfera.

A maneira mais fácil de entender esse crescimento é através do tempo de duplicação, ou seja, do tempo necessário para que a população duplique seu tamanho. No quadro 10.1 pode-se acompanhar esse crescimento. Observa-se que a população mundial além de manter um aumento contínuo ao longo do período analisado, o tem feito a uma velocidade cada vez maior, devido ao crescimento exponencial.

Quadro 10.1: Tempo de duplicação da população mundial.

Ano	População mundial estimada	Tempo de duplicação
8.000 a.C.	5 milhões	1.500 anos
1.650 d.C.	500 milhões	200 anos
1.850 d.C.	1 bilhão	80 anos
1.930 d.C.	2 bilhões	45 anos
1.975 d.C.	4 bilhões	35 anos
2.010 d.C.	8 bilhões ?	30 anos
2.040 d.C.	16 bilhões ?	

Fonte: SUTTON, D. B. e HARMON, N. P. (1979).

Mesmo com esse crescimento, a população humana na maior parte da sua história tem mantido um aumento gradual baixo, aquém de seu potencial biótico, devido à resistência ambiental - fome, guerras, doenças - que atua reduzindo a reprodução e a sobrevivência. O aumento rápido da população aparece nos períodos em que o homem introduziu avanços tecnológicos que lhe permitiram aumentar a capacidade de suporte da Terra. O primeiro aumento notável aconteceu com a **revolução das ferramentas** (~ 600 mil anos a.C.). O segundo com a **revolução agrícola** (~ 8 mil anos a.C.). O terceiro aumento, mais recente, data de 200 anos atrás, a **revolução industrial**. Nesta o homem não só conseguiu canalizar e dirigir o fluxo energético dentro dos ecossistemas, mas também aprendeu a explorar a energia dos resíduos fósseis. Numerosos avanços tecnológicos no campo da agricultura, do transporte, da cultura e, principalmente, da medicina, possibilitaram a redução das taxas de mortalidade, enquanto que a taxa de natalidade permanece alta. E, assim, a população mundial tem apresentado o seu maior crescimento (tempo de duplicação cada vez menor).

10.1. LIMITES DO CRESCIMENTO

O crescimento atual da população humana, assim como o consumo dos recursos naturais, avança a uma velocidade exponencial. **O problema é que os recursos do planeta não crescem na mesma proporção e, pelo contrário, são limitados.** Partindo desta constatação, chega-se à pergunta: “**que população o planeta pode abrigar, sem que a qualidade de vida se deteriore, sem que toda a beleza que encerra desapareça?**” ou, em outras palavras, “**qual a capacidade de suporte do planeta?**”

Na década de setenta, na busca de uma resposta para esta questão, o oceanógrafo francês Jaques-Yves Cousteau³, tomando como modelo o padrão de vida norte-americano, chegou à cifra dos 700 milhões. Obviamente, o padrão de vida considerado, apesar de almejado por muitos, não seria suportável, pois está baseado numa fonte energética não renovável (petróleo) e num consumismo sem limites de supérfluos e de descartáveis, com gastos elevadíssimos de energia, em detrimento de outros povos (Figura 10.1).

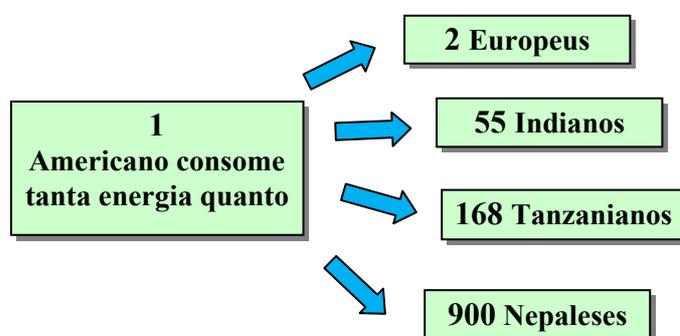


Figura 10.1: Consumo total de energia em 1980, comparação entre povos.
(Fonte: Banco Mundial)

Esse estudo, como tantos outros, aponta para a **superpopulação**, com todas as suas conseqüências nefastas. E este talvez seja o problema mais grave do planeta. Dos 5,8 bilhões que povoam a terra, menos de 2 bilhões vivem decentemente. Será possível quiçá alimentar os 10 a 12 bilhões previstos (algumas projeções apontam o CPZ⁴, por volta do ano 2110, com a população mundial em 10,5 bilhões de habitantes). Uma alternativa para aumentar a produção de alimentos, seria buscar os recursos do mar, porém encarando a desvantagem em termos da produtividade: o fator de transformação no mar é de 40 para 1, enquanto que na terra este é de 10 para 1 (Jaques Cousteau, 1991).

O prejuízo causado ao planeta resulta da demografia, mas também do grau de desenvolvimento. Os países desenvolvidos (EUA, Canadá, Europa, União Soviética e Japão) representam 24% da população mundial, mas consomem muito mais que o resto do mundo e são os campeões de poluição (Quadro 10.2). Ressalte-se, ainda, que os países desenvolvidos são sustentados, em grande parte, pela terra fora de suas fronteiras; na Holanda, por exemplo, 100% do milho, do algodão, do arroz e do minério de ferro consumidos são importados. Portanto, se for considerado o consumo em relação à produção, muitos países, principalmente da Europa, já estão superpovoados e, para se manterem, financiam a degradação em países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos.

³ Revista *El Correo da Unesco*, nov/91.

⁴ O CPZ - crescimento populacional zero - taxa de natalidade = taxa de mortalidade da população.

Quadro 10.2: Distribuição do consumo e da poluição industrial no mundo.

Recurso / Poluente	Países desenvolvidos	Resto do mundo
Energia	75%	25%
Ferro e aço	80%	20%
Cobre e alumínio	86%	14%
Papel	81%	19%
Adubo	60%	40%
Cimento	52%	48%
Automóveis	92%	8%
Veículos comerciais	85%	15%
Leite	72%	28%
Carne	64%	36%
Produtos químicos	86%	14%
Lixo tóxico	94%	6%
CO ₂	70%	30%
CFC	84%	16%

Fonte: Instituto Indira Gandhi, Índia, publicado na Rev. *Superinteressante*.

Outra grande ameaça ao planeta é a **poluição**. O aquecimento do planeta, a destruição da camada de ozônio, a contaminação química, a alteração e destruição dos ecossistemas, as inúmeras doenças, a degradação das terras produtivas, as alterações em escala global no clima e a rarefação da água, são ameaças graves e urgentes. O rareamento da água está relacionado com o desperdício, mas também com a superpopulação. Nos países ocidentais, os agricultores empregam sistemas de irrigação por aspersão, e uns 90% da água utilizada evaporam-se. Retira-se a água do lençol freático para deixar que evapore. Todavia, existem provas de que o lençol freático está secando. Em algumas regiões há seca, apesar da abundância das chuvas, devido à retirada sem controle e ao desperdício da água.

Um outro problema está no **desequilíbrio das espécies e na perda da biodiversidade**. A eliminação de um vírus para controlar uma doença é uma idéia nobre, porém traz enormes problemas. **Mediante as epidemias, a natureza compensava os excessos de natalidade com excessos de mortalidade**. O nobre propósito da medicina de eliminar os sofrimentos e as enfermidades, talvez não seja benéfico a longo prazo. Existe o perigo de que, ao fazê-lo, se comprometa o futuro da população humana.

10.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O crescimento da população é um fator fundamental na degradação ambiental; nos países em desenvolvimento é a causa de 79% do desmatamento, de 72% da expansão de terras cultiváveis e de 69% do incremento das pastagens. Porém não é o único, a degradação vem determinada também pelo nível de consumo da população e pela tecnologia empregada. Os níveis mundiais de consumo sem dúvida aumentarão. A tecnologia não pode obrar milagres por si só. Um crescimento mais lento da população, permitirá reduzir o impacto do desenvolvimento. Uma estratégia para reduzir o impacto ambiental e garantir a capacidade de suporte do planeta, deve incluir me-

didadas que fomentem o desenvolvimento sustentável e a redução da taxa de crescimento populacional.

Entende-se por **desenvolvimento sustentável** aquele processo de desenvolvimento que supre as necessidades das gerações do presente, sem comprometer as possibilidades das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades. Segundo a Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento, para alcançá-lo, o uso dos recursos naturais, os programas econômicos, o desenvolvimento tecnológico, o crescimento populacional e as estruturas institucionais devem estar em harmonia, não pondo em risco a atmosfera, água, solo e ecossistemas que mantêm a vida.

O desenvolvimento sustentável exige pois mudanças na sociedade, de modo a garantir oportunidades econômicas, sociais e políticas iguais para todos e, sobretudo, ter noções das limitações que o estágio da tecnologia e da organização social impõem ao meio ambiente. A proteção ao meio ambiente e a gestão racional dos recursos naturais, quer em escala global ou exclusivamente interna de um país, estado ou município, se fazem necessárias. Neste sentido, na Rio-92 – 2ª Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – elaborou-se o documento intitulado **Agenda 21**, que foi ratificado naquela ocasião por 170 países. A **Agenda 21** (Apêndice A) constitui o mais extenso, detalhado e dinâmico programa assinado pela Comunidade Internacional, cuja espinha dorsal é o desenvolvimento sustentável.

A revisão do sistema de incentivos, de forma a encorajar maior produção de alimentos, principalmente nos países em desenvolvimento, e a estimular políticas agrícolas que protejam a base dos recursos naturais, juntamente com programas que preconizem a administração racional dos recursos hídricos, alternativas para o uso de produtos químicos, a proteção e manejo de florestas, a ampliação da aquicultura e criação de peixes, a reforma agrária, utilização de fontes alternativas de energia, etc., precisam de maior atenção por parte de todos, pois o recurso natural mais ameaçado é o próprio homem.

10.3. RELATÓRIO DA FUNAP - ESTUDO DA POPULAÇÃO MUNDIAL

Algumas observações e recomendações da Fundação das Nações Unidas para Assuntos de População - FUNAP, no seu Relatório do ano de 1980.

1. A população do mundo, hoje, é de 4,4 bilhões de habitantes, com uma taxa de crescimento de 1,63% ao ano. A essa taxa, haverá 6 bilhões de pessoas no fim do século.
2. Até o "Crescimento Populacional Zero" (CPZ), previsto para o ano 2110, haverá 10,5 bilhões de pessoas no planeta, 90 por cento delas concentradas nos países em desenvolvimento (5,8 bilhões na Ásia e áreas próximas, 2,1 bilhões na África e 1,2 bilhões na América Latina).
3. O Brasil, hoje com cerca de 120 milhões de habitantes e uma taxa de crescimento de 2,1% (1970-1979), inferior a taxa da década 60-70 que era de 2,9% ao ano, atingirá, o seu CPZ por volta do ano 2075 com a população de 281 milhões.
4. Nos primeiros anos deste século, a população mundial cresceu em 360 milhões de pessoas, no atual quarto do século, crescerá 3,1 bilhões.
5. A taxa de mortalidade infantil caiu a metade nos últimos anos, o que pressiona os números do crescimento. Hoje, no mundo em desenvolvimento, 40% dos habitantes têm menos de 15 anos.
6. Cerca de 450 milhões de pessoas, metade das quais crianças com menos de cinco anos, vivem hoje em estado de desnutrição. Há cerca de 10 milhões de crianças em condições críticas.

7. No ano 2110, a terra terá plenas condições de alimentar a população existente. Com a tecnologia existente hoje, poderia ser alimentada uma população quatro vezes maior que a atual.
8. Em muitos países onde há altos níveis de desnutrição, quase metade da área cultivada é ocupada por produtos de exportação ou destinados ao consumo das classes mais favorecidas, em vez de alimentos básicos.
9. 36 dos 40 países mais pobres do mundo exportam alimentos para a Europa e os Estados Unidos.
10. O mundo gasta hoje 80% de suas verbas de saúde na cura de doenças, reservando apenas 20% para o saneamento básico.
11. Três quartas partes de todas as doenças conhecidas, poderiam ser curadas com melhor nutrição, redes de água potável e saneamento básico, acompanhados do ensino de regras de educação sanitária.
12. O número de analfabetos, hoje, é de 800 milhões e está aumentando. Há cerca de 100 milhões de crianças sem escolas e apenas 1/5 da população completa o curso primário.
13. A expectativa de vida nos países industrializados está em torno de 70 anos; nas nações em desenvolvimento, é cerca de 54 anos.
14. O relatório da ONU finaliza fazendo um apelo para que todos os países aumentem seus esforços para estabilizar a população no menor nível e no prazo mais curto possível. Defende, ainda, a necessidade de uma maior interação entre o crescimento demográfico e os programas de desenvolvimento que visem melhorar os serviços de saúde, ampliar o acesso a educação e reduzir as disparidades de rendas.

10.4. EXERCÍCIO DE FIXAÇÃO 10

1. Como você explicaria o fato da população humana ficar sempre aquém do seu potencial biótico?
2. Em que momentos da história o crescimento populacional aumentou mais rápido? Por que?
3. Qual a população mundial atual? Quantas pessoas a Terra pode sustentar?
4. Admitindo que a população cresce exponencialmente, estime a população atual do país.
5. Comente sobre os problemas que comprometem a capacidade de suporte do planeta.
6. Elabore um conceito para desenvolvimento sustentável.
7. Das observações e recomendações da FUNAP/1980, escolha as três que mais lhe impressionaram e comente sobre as mesmas.

Obs.: Considere para a estimativa de população a equação: $P_t = P_0 \cdot e^{rt}$; onde: P_0 = população inicial; P_t = população no tempo t ; r = taxa de crescimento; t = tempo em anos.

11. POLUIÇÃO DA ÁGUA

A água constitui o recurso natural mais abundante no planeta. Cobrindo $\frac{3}{4}$ de superfície terrestre, forma biótopos como rios, lagos, lagoas, riachos, mares e oceanos, que possibilitam a existência das biocenoses aquáticas. Apesar de toda abundância, apenas 3% é água doce e, destes, apenas 1% está acessível na superfície.

A água apresenta composição e propriedades físico-químicas que se destacam pela sua importância ecológica. Devido ao elevado calor específico que possui, absorve muito calor sem se aquecer em demasia, contribuindo para amenizar o clima da Terra. Com a densidade decrescente em temperaturas abaixo de 4 °C, a água se dilata ao invés de contrair-se, possibilitando a flutuação do gelo e mantendo a vida abaixo da camada congelada. A tensão superficial, na interface líquido-gasoso, permite a vida próximo à superfície. Solvente universal, é nesse meio que encontram-se dissolvidos sais minerais, matéria e gases essenciais à vida. É também nesse meio que o homem lança os subprodutos das suas atividades, causando a sua degradação.

As causas da poluição das águas são evidentes e pertencem a três ordens de fatos diferentes. A primeira está relacionada ao alto grau de urbanização aliado à falta de saneamento básico. A segunda razão provém do desenvolvimento da indústria e seus despejos complexos, com os mais variados poluentes. A terceira está relacionada à necessidade de uma maior produção agrícola, que resulta numa carga mais pesada, transportada pelas águas, de pesticidas e fertilizantes. O resultado disso tudo é um alastramento da poluição não só em rios, riachos, lagos e ao longo das praias, mas também nas fontes naturais subterrâneas.

A legislação em vigor define a poluição hídrica como sendo "**qualquer alteração nas características físicas, químicas e/ou biológicas das águas, que possa constituir prejuízo à saúde, à segurança e ao bem estar da população e, ainda, possa comprometer a fauna ictiológica e a utilização das águas para fins comerciais, industriais, recreativos e de geração de energia**". De forma mais prática, qualquer alteração nas características das águas que impeça ou prejudique o seu uso.

Desse modo, ao se encarar o problema da poluição e a necessidade de corrigi-la, é preciso que se tenha presente em cada caso os usos a que se destina a água. Para se assegurar um uso, ou um conjunto de usos, é necessário que a mesma possua certas características mensuráveis, de natureza física, química e biológica, dentro de padrões de qualidade para aquele uso. Tais características conferem à água o que denominamos de qualidade. Uso e qualidade são fatores interrelacionados. Desta forma, sempre que alterações indesejáveis acarretarem a diminuição do nível de qualidade da água, impedindo um ou mais usos para ela definidos, temos caracterizado um fenômeno de poluição hídrica.

De um modo geral, as águas têm os seguintes usos: abastecimento doméstico, abastecimento industrial, fonte de proteínas, irrigação, navegação, produção de energia, recreação e diluição de despejos. Sendo que o uso mais nobre é o abastecimento doméstico e o menos nobre, porém também bastante antigo, a diluição dos despejos. Este, devido à forma desordenada como vem sendo feito, tem gerado a poluição hídrica.

11.1. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS

As águas de interior no país, atendendo legislação federal - Resolução CONAMA nº 020/86 -, podem ser enquadradas em nove classes, distribuídas em três categorias: águas doces, salinas e salobras. O enquadramento procura preservar a qualidade das águas a fim de assegurar os seus usos. Para enquadramento do corpo d'água em uma das classes listadas, o mesmo deverá apresentar um nível de qualidade compatível com as condições exigidas para aquela classe, isto é, deverá obedecer aos padrões de qualidade estabelecidos na citada Resolução.

◆ ÁGUAS DOCES

- ◆ **Classe Especial.** Enquadram-se as águas destinadas a: abastecimento doméstico sem prévia ou simples desinfecção; e, preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
- ◆ **Classe 1.** Águas destinadas a: abastecimento doméstico, após tratamento simplificado; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário (natação, mergulho, etc.); irrigação de hortaliças e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e são ingeridas cruas; criação de peixes.
- ◆ **Classe 2.** Águas destinadas a: abastecimento doméstico após, tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário; irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; criação de peixes.
- ◆ **Classe 3.** Águas destinadas a: abastecimento doméstico, após tratamento convencional; irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; dessedentação de animais;
- ◆ **Classe 4.** Águas destinadas a: navegação; harmonia paisagística; usos menos exigentes.

◆ ÁGUAS SALINAS

- ◆ **Classe 5.** Águas destinadas a: recreação de contato primário; proteção das comunidades aquáticas; criação de peixes.
- ◆ **Classe 6.** Águas destinadas a: navegação comercial; harmonia paisagística; recreação de contato secundário.

◆ ÁGUAS SALOBRAS

- ◆ **Classe 7.** Águas destinadas a: recreação de contato primário; proteção de comunidades aquáticas; criação de peixes.
- ◆ **Classe 8.** Águas destinadas a: navegação comercial; harmonia paisagística; recreação de contato secundário.

As águas que ainda não passaram por enquadramento, se forem doces serão consideradas **Classe 2**, salinas **Classe 5** e salobras **Classe 7**. Os efluentes de qualquer fonte poluidora poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam também aos limites fixados na citada Resolução.

As águas doces, salinas e salobras destinadas a **balneabilidade** podem ser enquadradas em quatro categorias: **excelente** (3 estrelas), **muito boa** (2 estrelas), **satisfatória** (1 estrela) e **imprópria**. Os padrões de qualidade para enquadramento nestas categorias, também encontram-se listados na Resolução nº 020/86 do CONAMA.

11.2. PRINCIPAIS FONTES DE POLUIÇÃO HÍDRICA

Podemos distinguir, de início, dois grandes grupos de fontes poluidoras das águas: os despejos urbanos e os despejos rurais. Os despejos urbanos são: os esgotos domésticos, os resíduos líquidos industriais e as águas pluviais provenientes da lavagem das áreas urbanas. Os despejos rurais são basicamente: resíduos líquidos da agroindústria lançados diretamente nos cursos d'água e os resíduos das atividades agropastoris normalmente carregados pelas águas de chuva.

Dentre os resíduos líquidos industriais, tanto das áreas urbanas como rurais, as indústrias que mais se destacam pelo seu poder poluidor são as seguintes: Celulose e Papel; Usinas de Açúcar e Alcool; Prensados de Madeira; Matadouros e Frigoríficos; Refinarias de Petróleo; Químicas e Têxteis; Curtumes; e, Galvanoplastia.

Os principais problemas causados pelos despejos urbanos e rurais nos corpos d'água são a poluição pela carga orgânica e a contaminação pelas substâncias tóxicas oriundas de processos industriais.

11.3. PRINCIPAIS POLUENTES HÍDRICOS

No quadro 11.1, enumeram-se os principais poluentes hídricos, associando-os às suas origens (fontes poluidoras), efeitos, indicadores e métodos de análise.

Quadro 11.1: Principais poluentes das águas.

Poluente	Origem	Efeito	Indicador de poluição	Método de análise
<ul style="list-style-type: none"> • Matéria orgânica 	<ul style="list-style-type: none"> • Esgotos domésticos e alguns efluentes industriais (alimentos, papel, têxtil). 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduz drasticamente o nível de oxigênio dissolvido. Por longos períodos, causa mudanças na flora e fauna aquáticas. Podem ser tóxicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • DBO₅ - Demanda Bioquímica de Oxigênio e DQO - Demanda Química de Oxigênio (mg O₂/l) 	<ul style="list-style-type: none"> • Teste da DBO₅, OD, e DQO.
<ul style="list-style-type: none"> • Óleos 	<ul style="list-style-type: none"> • Vazamento em tanques de estocagem, acidentes, efluentes de postos, oficinas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Impede a absorção de oxigênio, o nível deste cai, inibindo a vida aquática. É tóxico para animais e plantas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Óleos e Graxas (mg/l) 	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica do infravermelho.
<ul style="list-style-type: none"> • Sólidos (em suspensão e sedimentáveis) 	<ul style="list-style-type: none"> • Esgotos domésticos e alguns efluentes industriais (argilas, carvão, porcelana). 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da turbidez, diminui a penetração de luz e a taxa fotossintética. Partículas finas sufocam as águas, modificando o ecossistema. Causam assoreamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • SS – Sólidos em suspensão, RS – resíduo sedimentável (ml/l), turbidez (UNT). 	<ul style="list-style-type: none"> • Método turbidimétrico, gravimétrico (SS) e método do cone Imhoff (RS).

• Temperatura	• Água de resfriamento industrial.	• Elevação da temperatura da água, reduzindo o nível de OD, ao mesmo tempo em que aumenta a atividade química e biológica.	• T - Temperatura (°C).	• Termômetro de mercúrio.
• Nitratos	• Uso de fertilizantes, efluentes de ETE, percolação em lixões.	• Causa crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas daninhas, contribui para a eutrofização das águas. Tóxico para o homem.	• NO ₃ - Nitratos (mg N/l).	• Método espectrofotométrico.
• Fosfatos	• Uso de fertilizantes e detergentes fosfatados. Indústria de alimentos.	• Eutrofização das águas.	• PO ₄ - Fosfatos (mg P/l).	• Método espectrofotométrico.
• Bactérias	• Esgoto doméstico e hospitalar. Despejos de indústrias alimentícias.	• Poluição fecal. Bactérias patogênicas encontrados nos esgotos podem causar doenças no homem e nos animais.	• IC - Índice de Coliformes (número de coli / 100 ml).	• Método NMP, CPP e membrana filtrante.
• Ácidos e álcalis	• Despejos industriais, chuva ácida, escoamento em solos ácidos ou alcalinos.	• Tóxico para a vida aquática. Interfere na atividade química e biológica.	• pH - Potencial hidrogeniônico.	• Métodos colorimétrico e potenciométrico.
• Metais	• Agrotóxicos, despejos industriais, percolações em lixões, chumbo das canalizações.	• Tóxicos ao homem. Acumulam-se nos ossos (chumbo), no sistema nervoso (mercúrio), atacam a medula óssea (cádmio). Biomagnificação. Reduzem a capacidade de autodepuração das águas.	• Metais (mg/l).	• Espectrofotômetro de absorção atômica.

11.4. CLASSIFICAÇÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA

Em função dos efeitos dos despejos nos corpos receptores, a poluição hídrica pode ser classificada em: química, térmica, bacteriana, orgânica, radioativa, etc..

- ◆ **Poluição bacteriana** - Contato com dejetos humanos portadores de organismos patogênicos, por via direta ou através de esgotos sanitários.
- ◆ **Poluição orgânica** - Recebimento de grande quantidade de matéria orgânica, proveniente de esgotos domésticos ou industriais;

- ◆ **Poluição química** - Presença de substâncias químicas em teores prejudiciais, provenientes de processos industriais, do uso de pesticidas e de fertilizantes nas lavouras;
- ◆ **Poluição térmica** - Elevação da temperatura da água, ao receber despejos com temperatura elevada, provenientes de destilarias, usinas atômicas, etc.;
- ◆ **Poluição radioativa** - Recebimento de descargas ricas em radioisótopos, provenientes de acidentes em usinas nucleares (água de resfriamento de reatores).

11.5. POLUIÇÃO ORGÂNICA

Considera-se aqui somente a poluição orgânica, ou seja, a poluição resultante do lançamento de esgotos domésticos e industriais ricos em matéria orgânica. Para melhor entendimento do problema, basta considerar uma cidade como Campina Grande, com aproximadamente 350.000 habitantes. Tendo como válida a média de mil gramas de fezes e urina por habitante-dia, são lançados nas fossas e redes de esgotos da cidade, 350 toneladas de resíduos orgânicos diariamente, ou seja, 127.750 toneladas anualmente, isso sem considerar as indústrias. Extrapolando para uma metrópole como São Paulo, com a sua população e o grande número de indústrias, pode-se dizer que se não fosse o tratamento dos esgotos, a mesma flutuaria nos seus próprios dejetos.

De todas as formas de poluição, esta é a que está mais presente no dia-a-dia dos brasileiros. Tal fato é decorrente da carência de Sistemas de Esgotamento Sanitário, pois apenas 35% dos municípios brasileiros dispõem de redes de esgotos (na região Nordeste apenas 1,56% ou 11,75% da população⁵). Como resultado, 10 bilhões de litros de esgoto “*in natura*” são lançados diariamente nos cursos d’água e solos do país.

Esse tipo de poluição é provocado por matérias orgânicas suscetíveis de degradação bacteriana, e é favorecido, fundamentalmente, pela fraca solubilidade do oxigênio nas águas. A matéria orgânica alimenta animais, fungos e, principalmente, bactérias. Estas, quando o alimento deixa de ser fator limitante, multiplicam-se com espantosa rapidez e consomem muito oxigênio. Se a água é rica em oxigênio dissolvido e a matéria orgânica pouco abundante, domina a **degradação aeróbia** e formam-se gás carbônico, água e nitratos. Mas se a água não contém oxigênio suficiente, ocorre a **degradação anaeróbia**, com produção de gás carbônico e também de metano, amônia, ácidos graxos, mercaptanas, fenóis e aminoácidos - alguns desses compostos são tóxicos. A existência de um ou de outro processo dependerá das condições do meio, onde tem grande importância a quantidade de esgotos lançados, o volume do corpo receptor, a rapidez de oxigenação da água e a temperatura.

Quando a quantidade de esgotos lançada for muito grande em relação ao volume do corpo receptor e à sua capacidade de oxigenação, a grande proliferação de bactérias, "vorazes" pelo oxigênio, acabará por consumir todo oxigênio dissolvido na água, causando a morte de toda a comunidade aquática. Diz-se então que houve a **morte do corpo d’água**, devido ao excesso de alimento que lhe foi servido. Um corpo d’água morto é aquele que não contém oxigênio dissolvido em suas águas e conseqüentemente não tem forma de vida superior.

⁵ CIMA – Comissão Interministerial para a Preparação da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

11.5.1. DBO E DQO

Visto que a poluição orgânica acarreta grande consumo de oxigênio, uma boa estimativa da poluição pode ser obtida através da DBO₅ e da DQO. A demanda bioquímica de oxigênio - DBO₅ - corresponde à quantidade de oxigênio necessária para que as bactérias possam oxidar a matéria orgânica (biodegradável). A demanda química de oxigênio - DQO - representa a quantidade de oxigênio dissolvido, cedida por via química, para oxidação de matéria orgânica biodegradável e não-biodegradável. Tanto uma como outra contribuem para o fechamento de ciclos biogeoquímicos nas águas. Em águas limpas, a DBO₅ é fraca, da ordem de 2 a 4 mg/l. Em águas poluídas, é de várias dezenas de miligramas. No esgoto doméstico, chega a 300 mg/l e, nos despejos industriais, varia com o tipo de indústria, porém é bem superior à do esgoto doméstico.

A relação DQO/DBO₅ dá uma idéia do tipo de matéria orgânica que predomina na poluição. Nas águas pouco poluídas, a relação DQO/DBO₅ é pouco elevada, da ordem de 2 a 3. Quando é maior, indica a predominância de matéria não biodegradável, muitas das quais podem ser tóxicas, como detergentes e pesticidas. Neste caso, a água pode estar saturada de oxigênio, contudo intensamente contaminada (lembrar que toda contaminação é poluição).

É importante determinar também os sólidos em suspensão e sedimentáveis. Tratam-se de substâncias insolúveis que diminuem a transparência da água e dificultam a fotossíntese (diminuindo a reoxigenação), perturbam a vida dos organismos bentônicos ao se depositarem lentamente sobre o fundo e promovem o assoreamento dos corpos d'água.

11.5.2. CARGA POLUIDORA

A DBO₅ dá uma idéia do grau de poluição de despejo ou do ambiente, porém, na avaliação da poluição, torna-se necessário correlacionar esse indicador com a quantidade de despejos, pois, para uma mesma DBO₅, quanto maior o volume ou a vazão de lançamento, maior o potencial poluidor do despejo. Esta correlação é feita através da carga poluidora. A **carga poluidora**, ou **carga de DBO**, representa a quantidade de oxigênio que vai ser requerida do corpo d'água na unidade de tempo, e é obtida multiplicando-se a DBO₅ do esgoto considerado pela vazão de lançamento do mesmo corpo receptor.

A importância da medida da DBO₅ e, conseqüentemente, da carga poluidora, sob o ponto de vista ecológico, é muito grande, pois é através dela que se pode saber quanto oxigênio vai ser "roubado" da água, por determinada quantidade de um certo tipo de despejo. Por conseguinte, conhecendo-se o volume de água do corpo receptor e, portanto, a quantidade de oxigênio nele contida, pode-se saber também quanto oxigênio resta para a respiração dos peixes.

Suponha, a título de exemplo⁶, que um rio com vazão de 10 metros cúbicos por segundo, esteja recebendo os esgotos de uma comunidade com vazão de 300 litros por segundo, esgotos esses que têm uma DBO média de 200 miligramas por litro, tem-se uma carga poluidora de 60 gramas de DBO por segundo. Quando não poluída, a água do rio (20°C e ao nível do mar), concentra 9,0 miligramas de O₂ por litro, o que corresponde a uma carga de oxigênio inicial de 9,0mg/l x 10.000l/s = 90.000mg/s, ou 90g/s. Ora, se o rio "dispõe" de 90g/s e o despejo lhe "rouba" 60g/s, "sobram" 90g/s - 60g/s = 30g/s, que divididas pela vazão de 10m³/s, resultará em 3mg/l de O₂, a

⁶ POLUIÇÃO: A MORTE DE NOSSOS RIOS, Samuel Murgel Branco, 1983.

que ficará reduzido o rio em questão, concentração essa que é insuficiente para permitir a vida normal de peixes.

Se em lugar de 300l/s de esgotos, a cidade passar a lançar 500l/s, o rio ficará com um saldo negativo de -1mg/l de oxigênio, isto é, ficará morto. É claro que a concentração de oxigênio não pode ser negativa, será nula; mas, para que o rio volte às suas características normais de saturação de oxigênio, será preciso fornecer-lhe 10mg/l de O₂ e não apenas 9mg/l. Diz-se então que o rio apresenta um "**déficit de saturação de oxigênio**" de 10mg/l. Por outro lado, esse mesmo esgoto lançado no rio Amazonas (vazão de 300 milhões de litros por segundo), teria efeitos totalmente desprezíveis.

11.5.3. EQUIVALENTE POPULACIONAL

É costume referir-se à poluição orgânica em função da quantidade média de detritos produzidos diariamente por uma pessoa. A ordem de grandeza correspondente a esta quantidade é denominada de **Equivalente Populacional - EP**. Um EP corresponde pois à carga poluidora ou carga de DBO₅ produzida por uma pessoa diariamente. Nos povos civilizados, a matéria poluidora produzida por uma pessoa diariamente, representa uma carga de aproximadamente 54 gramas de DBO₅.

Quando se trata de despejos industriais, os números são outros, variando de acordo com o tipo de indústria considerado. A DBO₅ das águas residuárias de uma indústria pode ser dezenas ou centenas de vezes maior que a dos esgotos domésticos. Para que seja possível comparar o potencial poluidor dos vários tipos de despejos entre si, costuma-se dividir a carga orgânica poluidora de cada indústria por 54g/hab.dia, o que fornece um dado relativo a "quantas pessoas seriam necessárias para produzir a mesma poluição", e representa o equivalente populacional do despejo industrial considerado.

Tomando como exemplo uma fábrica de celulose (Quadro 11.2), cada tonelada de celulose produzida tem um equivalente populacional de 5.000 habitantes: isto significa dizer que cada vez que a fábrica produz aquela quantidade de celulose, os despejos resultantes lançados diretamente no rio, causam uma poluição orgânica equivalente à que seria produzida por uma população de 5.000 habitantes.

O equivalente populacional apresenta enorme interesse técnico, pois permite saber, de antemão, qual o potencial poluidor de uma indústria, antes mesmo de sua instalação, baseando-se apenas na previsão de sua capacidade produtora. No quadro 11.2, estão listados os Equivalentes Populacionais de vários tipos de indústrias.

Na agricultura, emprega-se ainda como unidade de referência o **Equivalente Animal - EA**, que se refere à quantidade total de detritos orgânicos devido a um animal de 500 kg de peso. É possível a comparação entre EP e EA através dos valores de DBO₅. Um EA corresponde a cerca de 15 EP. É importante frisar que esta comparação só se refere às substâncias orgânicas passíveis de decomposição microbiana, ou seja, substâncias biodegradáveis.

Quadro 11.2: Equivalente populacional para vários tipos de indústrias.

Tipo de Indústria	Quantidade produzida ou processada / dia	Equivalente populacional (hab.)
Cervejaria	1.000 litros de cerveja	1.500
Curtume	1 tonelada de peles	2.500
Matadouro	1 tonelada de peso em pé	300
Celulose	1 tonelada de celulose	5.000
Usina de álcool	1 ton. de cana ou 65 litros de álcool	400
Granja de galinhas	10 aves abatidas	2
Laticínios	1.000 litros de leite	200
Lavanderia	1 tonelada de roupas	700

Fonte: *Manual de Tratamento de Águas Residuárias.*

11.6. AUTODEPURAÇÃO DAS ÁGUAS

A água é de natureza essencialmente dinâmica, quer nos aspectos físicos (turbulência), quer nos aspectos químicos e biológicos. É sede de contínuas modificações que ocorrem naturalmente, além das transformações que lhe são impostas pelo homem. Quanto a estas últimas, a água procura dinamicamente eliminá-las, numa tentativa permanente de readquirir suas características anteriores. Nessa atividade incessante de recuperação, fenômeno conhecido como **autodepuração**, a água poluída transforma toda a matéria orgânica, putrefata e malcheirosa, em gases que evolvem para a atmosfera e em sais minerais que podem ser absorvidos pelos seres vivos.

O fenômeno da autodepuração inicia-se logo após o lançamento de cargas poluidoras, e inclui todo o processo de **assimilação**, **decantação** e **digestão** de compostos estranhos, além de **oxigenação** da água. As principais conseqüências nefastas da poluição orgânica, como perda de oxigênio, gases tóxicos e morte do corpo d'água, decorrem do processo.

Os metais presentes nos despejos, também participam do processo. Podem ser absorvidos por sedimentos minerais, combinar-se com diferentes minerais formando sulfetos, carbonatos, etc. ou precipitar-se em presença de hidróxidos de ferro ou manganês. Porém, a presença de metais pesados nos despejos pode interferir no processo, devido à sua ação tóxica sobre os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria.

11.6.1. ZONAS DE AUTODEPURAÇÃO

Durante o processo de autodepuração as águas passam por uma série de etapas sucessivas, quer no espaço quer no tempo. Isso permite dividir um rio poluído em zonas de autodepuração. Supondo a existência de uma única fonte poluidora, as transformações no corpo d'água podem ser vistas nas figuras 11.1 e 11.2. A evolução do teor de oxigênio dissolvido é função da distância ao local da poluição, segundo uma curva em forma de “bolsa”, que é a resultante, por um lado, do consumo de oxigênio; e por outro, da oxigenação da água (Figura 11.1). Durante o processo, observam-se modificações na biocenose em função do teor de oxigênio dissolvido (Figura 11.2), segundo fases caracterizadas por espécies particulares que podem ser utilizadas como indicadores de poluição.

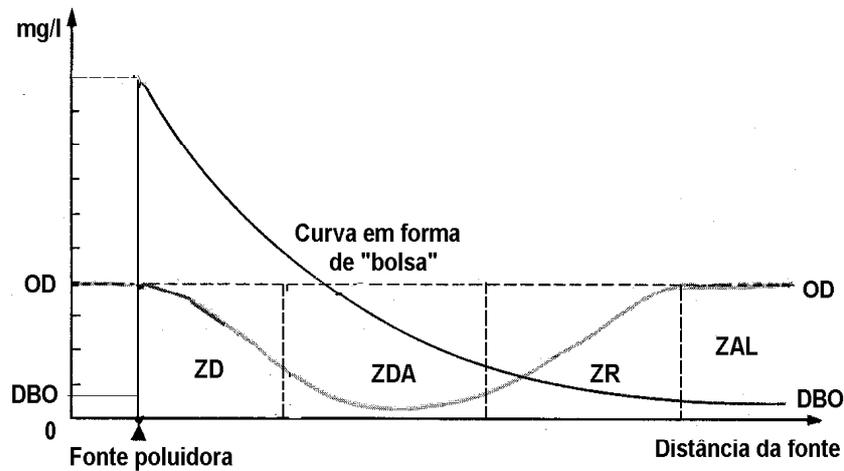


Figura 11.1: Zonas de autodepuração.

(CHARBONNEAU, J. P. et al, 1979)

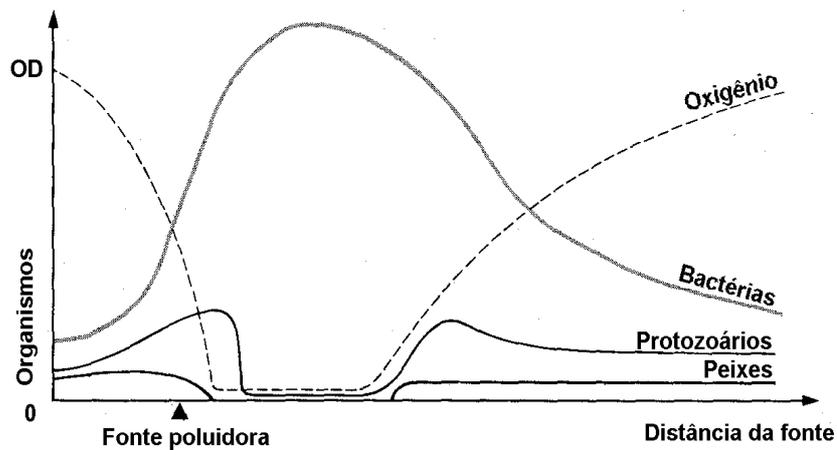


Figura 11.2: Efeitos da poluição orgânica sobre o oxigênio dissolvido e os organismos (CHARBONNEAU, J. P. et al, 1979).

11.6.1.1. ZONA DE DEGRADAÇÃO - ZD

Inicia-se no ponto de lançamento dos despejos. A água fica turva, cor acinzentada, há sedimentação de partículas que formam o lodo no leito do corpo d'água. A proliferação de bactérias logo se inicia com o consumo da matéria orgânica como alimento e redução da concentração de oxigênio progressivamente. Quando esta atinge 40% da concentração inicial, tem-se aí o limite da 1ª zona. Não há odor ativo, uma vez que a presença do oxigênio não permite a decomposição anaeróbia. Esta apenas ocorre no interior da massa de lodo que ocupa o leito do rio, dando origem a bolhas de gás.

11.6.1.2. ZONA DE DECOMPOSIÇÃO ATIVA - ZDA

Inicia-se quando o oxigênio atinge valores inferiores a 40% da concentração inicial. Ocorre em águas que recebem grandes cargas poluidoras. Apresenta cor cinza-escuro, quase negra, com grandes bancos de lodo no fundo, em ativa decomposição anaeróbia, desprendendo gases malcheirosos, tais como amônia, gás sulfídrico e mercaptanas que caracterizam o ambiente séptico. Nessas condições, o oxigênio dissolvido pode zerar ou “ficar negativo”, na parte média dessa zona. Neste ponto, a biota aeróbios é substituída por outra anaeróbios. O ambiente torna-se fétido e escuro, a superfície da água tem aspecto oleoso e denso. O oxigênio passa a ser repostado, seja a partir do ar atmosférico, seja a partir da fotossíntese. A população de bactérias começa a decrescer, seja por falta do alimento, seja devido a predação por protozoários. O meio começa a tornar-se claro, mas ainda é impróprio à vida de peixes, dada a alta concentração de amônia. Quando o oxigênio eleva-se a 40% da concentração inicial, termina a 2ª zona.

11.6.1.3. ZONA DE RECUPERAÇÃO - ZR

Inicia-se com 40% de oxigênio inicial e termina com a água saturada de oxigênio. Progressivamente mais clara e límpida, a água permite a proliferação de algas que reoxigenam o meio. A amônia é oxidada a nitritos e nitratos que, juntamente com os fosfatos, fertilizam o meio, favorecendo a proliferação de algas. Estas conferem coloração esverdeada intensa e, por sua vez, servem de alimento para organismos como pequenos crustáceos, larvas de insetos, vermes, moluscos, etc., os quais alimentam peixes que começam a aparecer nesta zona, diversificando cada vez mais a biocenose.

11.6.1.4. ZONA DE ÁGUAS LIMPAS - ZAL

Apesar desta denominação, a água apresenta características totalmente diferentes daquelas que apresentava antes da poluição. A diferença fundamental é que a água agora encontra-se "**eutrófica**". A água está longe de ser limpa pois a grande quantidade de algas torna-a intensamente verde, às vezes espessa como uma sopa. A população de seres vivos agora é muito maior que a existente antes, inclusive de peixes. A água foi salva, recuperou-se, melhorou a sua capacidade de produzir alimento protéico, mas, por outro lado, piorou no que diz respeito à água potável. Além disso ficou com péssimo aspecto estético e com grande assoreamento nas margens, com invasão de plantas aquáticas indesejáveis.

11.7. EUTROFICAÇÃO

Denomina-se **eutroficação**⁷ o processo resultante da fertilização das águas por despejos orgânicos domésticos ou industriais, despejos de resíduos da agricultura, poluição do ar ou por afogamento da vegetação em represas. O processo também pode ter origem natural, desencadeado pelo escoamento das águas de chuva nos solos, que arrasta nutrientes para os corpos d'água, dando origem à **eutrofização**. Seja eutrofização ou eutroficação, o processo caracteriza-se pelo envelhecimento precoce de um corpo d'água, devido à grande quantidade de nutrientes.

⁷ Segundo alguns autores o termo “eutroficação” deve substituir o termo “eutrofização”, quando se tratar de processo desencadeado pelo homem.

O processo ocorre da seguinte forma: nas águas fertilizadas, nutrientes como nitrogênio e fósforo deixam de ser fatores limitantes para organismos produtores, o que favorece a proliferação de algas. O aumento de algas e, conseqüentemente, de oxigênio, leva também a um aumento na proliferação de pequenos animais que as utilizam como alimento, e também de peixes que se nutrem desses animais.

O mecanismo pode ser encarado como uma reação em cadeia, de causas e efeitos característicos, que têm como resultado a quebra do equilíbrio ecológico, pois passa a haver mais produção de matéria orgânica do que o sistema é capaz de assimilar. O aumento na produção primária, tem como conseqüência um aumento na quantidade de substâncias orgânicas no meio, cuja decomposição por microrganismos consome oxigênio. Por outro lado, à noite, cessada a atividade fotossintetizante, as algas também passam a consumir parte do oxigênio produzido durante o dia. Com a queda do oxigênio dissolvido na água, surgem outros gases da atividade de bactérias anaeróbias, entre os quais, o gás sulfídrico, a amônia e o metano. Estes, extremamente tóxicos para a maioria dos organismos aquáticos, especialmente para os peixes, que morrem, aumentando a carga de matéria orgânica no meio.

O aumento da concentração de algas é acompanhado de alterações qualitativas, com surgimento de novas espécies e desaparecimento de outras. Nas águas doces eutrofizadas, nos meses mais quentes, observa-se altas densidades de algas, sobretudo algas azuis (*Cianofíceas*), responsáveis pela excreção de altas quantidades de substâncias tóxicas e malcheirosas. O intenso crescimento de algas dificulta também a penetração de luz na água e provoca a morte de plantas aquáticas jovens enraizadas no sedimento, justamente aquelas que proporcionam local adequado à desova dos peixes e à proliferação de organismos que lhes servem de alimento. Nas águas salgadas, a eutroficação favorece às “**marés vermelhas**”, fenômeno resultante da proliferação de algas unicelulares, muito tóxicas, do gênero *Gymnodinium*.

No estágio final, o ecossistema aquático caracteriza-se pela pouca profundidade, altos déficits de oxigênio, organismos mortos flutuando na superfície e grande quantidade de colchões de algas à deriva. A presença dessas características, indica que o ecossistema está agonizante e só poderá ser salvo à custa de investimentos elevados e uso de tecnologia moderna. Em nosso país, há exemplos claros desse processo, como no Lago Paranoá - Brasília, Represa Billings - São Paulo, Lagoa da Pampulha - Belo Horizonte e, num processo bem encaminhado, o Açude Velho - Campina Grande.

As principais técnicas utilizadas para controle e correção dos efeitos da eutroficação, envolvem os seguintes processos: diminuição da entrada de agentes eutrofizantes; renovação do hipolimnio; remoção periódica das macrófitas aquáticas; remoção do sedimento do fundo; diminuição do tempo de residência; isolamento químico do sedimento; e controle biológico. A contenção do processo é uma tarefa das mais difíceis, que exige técnicas especializadas e apoio político-social das mais importantes. Da tecnologia saem as medidas para o seu controle e do apoio político as leis que viabilizam essas medidas.

11.8. MEDIDAS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO HÍDRICA

Algumas medidas podem ser tomadas com vistas a controlar a poluição hídrica. No primeiro grupo estão as medidas corretivas que visam favorecer, ou mesmo elevar, a capacidade de auto-

depuração dos corpos de água: Regularização da Vazão do Rio, Aumento da Turbulência e Adição de uma Fonte Química Suplementar de Oxigênio. No segundo grupo estão aquelas medidas destinadas a prevenir, ou mesmo evitar, a poluição dos corpos d'água: Tratamento dos Despejos, Levantamento Sanitário e Aplicação de uma Legislação Eficaz.

11.8.1. REGULARIZAÇÃO DA VAZÃO DO RIO

Esta é aplicável quando o corpo d'água sofre grandes variações de vazão durante o ano. O represamento das águas de chuva permite a regularização da vazão do rio mediante a utilização de comportas na barragem, aumentando assim a sua capacidade de autodepuração. Entretanto, a construção de represas deve restringir-se aos casos absolutamente indispensáveis, pois ela implica sempre em uma alteração dos sistemas ecológicos, provocando desequilíbrios: alteração de fauna e flora, mudanças de clima e outros impactos ambientais que deverão ser cuidadosamente avaliados.

11.8.2. AUMENTO DA TURBULÊNCIA

Em casos especiais, pode-se aumentar a capacidade de recuperação da água, elevando-se a turbulência. Águas agitadas, como em rios que possuem corredeiras, têm maior capacidade de absorver oxigênio atmosférico do que as águas tranquilas. É possível aumentar a turbulência das águas através de artifícios que provocam a sua agitação e, conseqüentemente, rápida oxigenação do meio. Dentre os artifícios empregados, citam-se os aeradores, a construção de corredeiras artificiais e os escovões rotativos.

11.8.3. ADIÇÃO DE UMA FONTE QUÍMICA SUPLEMENTAR

Em casos extremos de produção repentina de fortes odores nocivos, por causa de súbita passagem às condições sépticas (anaeróbias), tem-se recorrido à adição de nitratos ao meio, como fonte química suplementar de oxigênio para a atividade de bactérias aeróbia facultativas. Tal solução paliativa tem porém o grave inconveniente de acrescentar nitrogênio à água, o que acelera o processo de eutrofização.

11.8.4. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

Este, consiste num levantamento sanitário-ecológico das bacias hidrográficas, que abrange tanto a ecologia aquática, como também o uso da terra e suas transformações pelo homem. O mesmo tem como objetivo fundamental prever as conseqüências futuras que decorreriam de uma expansão não planejada das atividades da região. Trata-se pois de um levantamento das condições atuais a fim de prever as condições futuras. E assim, as tendências demográficas, as expansões industriais e agrárias, devem ser estudadas, além da própria água e os seus usos, dos solos, da fauna e da flora, com fins de elaborar, conscientemente, um plano de manejo das bacias, de modo a preservar os corpos d'água.

11.8.5. APLICAÇÃO DE UMA LEGISLAÇÃO EFICAZ

Uma legislação eficaz é aquela cuja importância é entendida por todos e é seguida, não pelo fato de ser punitiva, mas pelo seu caráter disciplinador do uso dos recursos naturais. A água é um recurso aparentemente abundante, mas que tem distribuição bastante irregular no planeta. O uso sem matéria disciplinadora pode levar a sérios conflitos no futuro (já presentes em algumas regiões), uma vez que a poluição não tem fronteiras. Prevenir a poluição das águas através de uma legislação tem sido medida de controle adotada por muitos países. No Brasil, a Resolução CONAMA nº 020/86 e o Código das Águas, fazem parte da legislação disciplinadora dos usos das águas, que só precisa de maior divulgação dentro de um programa de educação ambiental que motive a população, para que possa tornar-se eficaz. A criação de uma consciência pública e industrial da importância vital da conservação do meio ambiente, seria mais eficaz, sem dúvida, do que a aplicação pura e simples de sanções penais aos infratores.

11.8.6. TRATAMENTO DOS DESPEJOS

O tratamento dos despejos visa reduzir ou eliminar a carga poluidora, antes do seu lançamento nas águas (medida preventiva) ou após o lançamento, para recuperação do corpo d'água (medida curativa). A situação ideal seria a eliminação de todos os poluentes, porém este objetivo parece inatingível, tanto do ponto de vista econômico como tecnológico.

O tratamento consiste na combinação de operações unitárias (gradeamento, troca de gás, sedimentação, flotação, coagulação, precipitação química, filtração, desinfecção e oxidação biológica) para obtenção de um efluente com características aceitáveis, para devolvê-lo aos corpos d'água, conforme a Resolução CONAMA 020/86. Nas operações unitárias são utilizados processos físicos, químicos e biológicos que, combinados num sistema de tratamento, resultam na eficiência desejada.

Com relação à eficiência das instalações de tratamento na redução dos sólidos em suspensão e da demanda bioquímica de oxigênio, pode-se classificar o tratamento dos despejos da seguinte forma:

- ◆ **tratamento primário:** com predominância de processos físicos, para remoção de sólidos grosseiros, gorduras e areia, através de decantador, tanque de flotação, separador de óleos, caixa de areia, etc, com 10 a 50% de eficiência;
- ◆ **tratamento secundário:** há predominância de processos biológicos para remoção de material orgânico biodegradável, através do uso de lagoa de estabilização, lodo ativado, filtro biológico, etc, com 50 a 95% de eficiência;
- ◆ **tratamento terciário:** com predominância de processos químicos para remoção de nutrientes, organismos infecciosos, inorgânicos e orgânicos complexos, por meio de precipitação química, desinfecção, dentre outros processos.

A escolha por um ou outro, ou pela combinação de processos, depende dos recursos disponíveis e, mais precisamente, da eficiência de remoção desejada ou exigida para lançamento de efluentes nos corpos de água. Nas Figuras 11.3 e 11.4, estão ilustrados dois sistemas de tratamento de despejos.

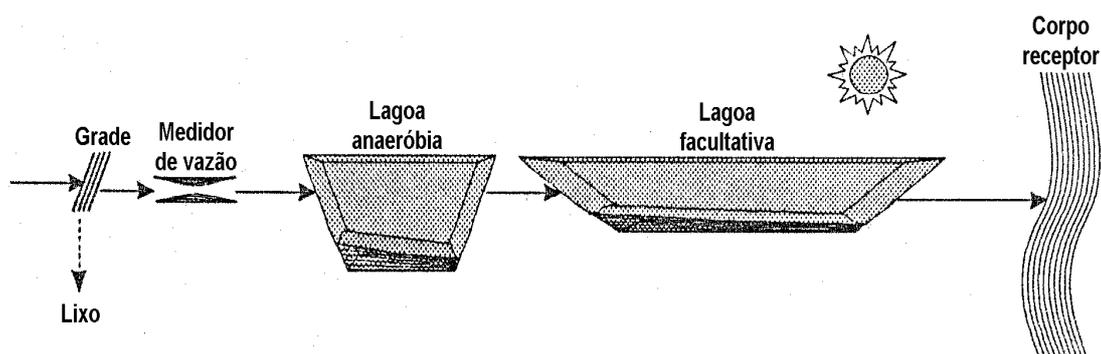


Figura 11.3: Sistema de Lagoas de Estabilização.
(Revista Bio, nº 1, 1994)

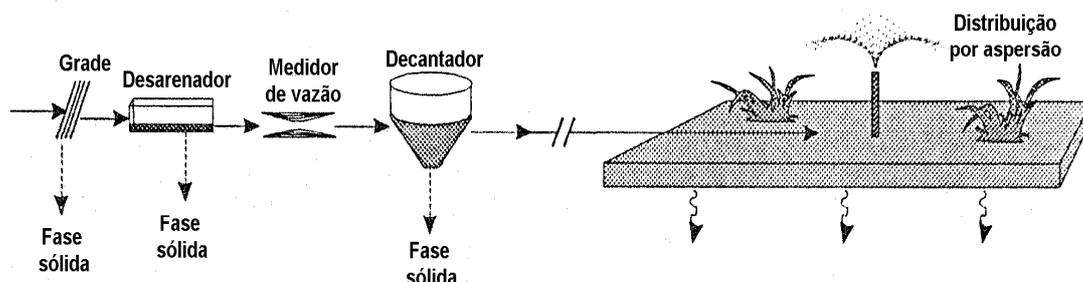


Figura 11.4: Sistema de Disposição no Solo.
(Revista Bio, nº 1, 1994)

11.9. EXERCÍCIO DE FIXAÇÃO 11

1. Enumere as causas da poluição hídrica.
2. Qual a sua cidade? Enumere os principais usos das águas na mesma, priorizando-os numa escala de 1 a 5.
3. Liste três fontes de poluição hídrica com os respectivos poluentes.
4. Enumere as principais conseqüências dos poluentes listados na questão anterior.
5. Associe indicadores de poluição aos poluentes listados na questão 3.
6. Em um corpo d'água estudado, obteve-se os seguintes resultados: $DQO/DBO_5 = 4,5$ e saturação de oxigênio. Como você classificaria essa poluição?
7. Qual a carga poluidora de uma indústria cujo equivalente populacional é 100 mil habitantes?
8. O rio Tietê, ao atravessar a cidade de São Paulo, recebe uma carga poluidora de aproximadamente 50 ton./dia. No período de inverno, a vazão do rio pode chegar a $60 \text{ m}^3/\text{s}$.
 - a) Qual o equivalente populacional dos despejos lançados no rio?
 - b) Qual a carga de oxigênio final? (admitir $OD_{\text{inicial}} = 7,5 \text{ mg/l}$)
 - c) Qual o seu diagnóstico para o Tietê? (admitir classe 4)

9. Conceitue autodepuração e comente sobre as suas zonas.
10. O que acontece com a biocenose do corpo d'água durante o processo de autodepuração?
11. Explique o fenômeno das “marés vermelhas”.
12. Como melhorar a capacidade de autodepuração dos corpos d'água?

12. POLUIÇÃO DO SOLO

O solo é a camada superficial da litosfera, formada por rocha finamente decomposta, restos vegetais e animais, e seres vivos (bactérias, fungos, algas, protozoários, vermes e insetos), constituindo um verdadeiro ecossistema. Num simplificado perfil de solo (Figura 12.1) podemos identificar, de baixo para cima, as seguintes camadas: rocha “mãe”- rocha que deu origem ao solo -, subsolo - rocha desagregada ou regolito -, e o solo propriamente dito coberto por uma camada de “húmus” de 15 a 30 centímetros. Nesta, a vida é tão intensa que se assemelha a uma indústria de reciclagem em funcionamento contínuo, garantindo a perenidade dos ciclos biogeoquímicos e, conseqüentemente, a fertilidade dos solos. Estes, verdadeiros substratos da vida humana, animal e vegetal, funcionam como reservatórios de nutrientes e água, e ainda absorvem e oxidam substâncias indesejáveis.

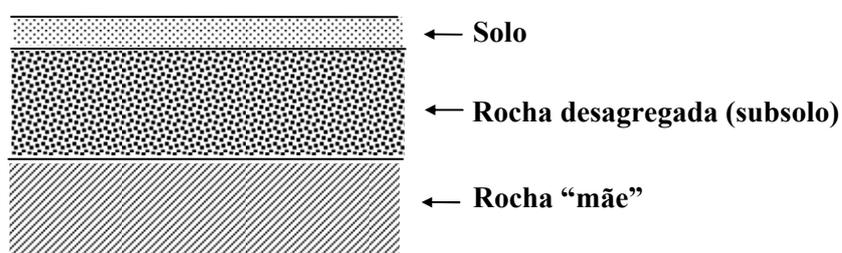


Figura 12.1: Perfil de solo.

No processo de formação dos solos, quatro fatores são particularmente importantes:

- ◆ **o clima** - principalmente a temperatura e a precipitação que influenciam na desagregação de rocha e formação do húmus;
- ◆ **a geologia** - a rocha mãe pode contribuir para a textura e composição química do solo, podendo inclusive afetar a fertilidade;
- ◆ **o tempo** - os solos desenvolvem-se ao longo do tempo, num processo dinâmico sob determinadas condições ambientais. Em algumas regiões do mundo, estas condições persistem por longos períodos, noutras ocorrem mudanças rápidas;
- ◆ **a vegetação** - a circulação de nutrientes é grandemente influenciada pelas raízes das plantas. A vegetação densa protege o solo do efeito da chuva forte e também reduz as flutuações de temperatura no solo.

Sob o ponto de vista ecológico, um solo caracteriza-se pela: textura, porosidade, composição química, pH, teor de umidade e composição biológica. Em geral, os solos apresentam a seguinte composição: 45% de elementos minerais (areia e argila), 25% de ar, 25% de água, 5% de matéria orgânica e miríades de pequenos organismos. A maneira como os elementos minerais e a matéria orgânica se estruturam contribui para definir o teor de umidade, aeração e fertilidade do solo.

Como substrato da vida, o solo vem ao longo da história da civilização sofrendo as consequências das atividades humanas, que alteram as suas características causando danos à saúde do homem e ao seu patrimônio, gerando o fenômeno da poluição do solo. Este pode apresentar-se através:

- ◆ do desmatamento que destrói a cobertura vegetal protetora;
- ◆ da utilização de queimadas para limpeza;
- ◆ da mineração de recursos não renováveis;
- ◆ da superlotação dos pastos com rebanhos;
- ◆ do cultivo de terras, exaustivamente, com monoculturas;
- ◆ do uso intensivo de agrotóxicos no controle de pragas;
- ◆ do uso abusivo de fertilizantes;
- ◆ de projetos de irrigação mal orientados, provocando a erosão, a lixiviação e a laterização;
- ◆ e, disposição inadequada do lixo.

12.1. POLUENTES DO SOLO

No quadro 12.1, estão enumerados os principais poluentes do solo, com sua origem, efeitos e métodos de análise.

Quadro 12.1: Principais poluentes dos solos

Poluentes	Origem	Efeitos	Método de análise
• Acidez	• Alguns solos são naturalmente ácidos, outros são alterados pela chuva ácida ou outra forma de poluição (despejos industriais).	• Aumenta a solubilidade de metais prejudiciais ao homem. Inviabiliza a vida no solo para muitos animais e vegetais.	• Método de igualação de cores ou do pH-metro.
• Micrororganismos	• Contaminação por esgoto humano ou animal.	• Pode conter bactérias patogênicas ao homem e animais.	• Método da contagem de colônias.
• Nitratos e fosfatos	• Uso de adubos minerais, lodo de esgoto, esterco de pocilgas e estábulos.	• Tóxicos (nitritos) e cancerígenos (nitrosamidas) para o homem. Vegetais florescem menos, produzindo menos frutos e sementes. Alteram o ciclo do nitrogênio. Nitratos e fosfatos eutrofizam as águas.	• Método espectrofotométrico.
• Metais	• Alguns estão normalmente presentes nos solos (alumínio, cádmio). Outros provêm de lodo de esgoto e alguns resíduos industriais. Usado em pesticidas (mercúrio), em tintas (cádmio), na gasolina (chumbo).	• Tóxicos para o homem. Acumulam-se nos ossos (chumbo). Atacam o sistema nervoso (mercúrio). Interferem no processo de fotossíntese (zinco). Participam do processo de biomagnificação.	• Espectrofotômetro de Absorção Atômica.

• Sais (Salino negro)	• Evaporação da água de irrigação. Extrusão de água do mar.	• Depósitos salinos são tóxicos para muitas plantas.	• Condutivímetro.
• Gases de aterros	• Locais de disposição de lixo (aterros, lixões).	• O metano é altamente explosivo e o dióxido de carbono é asfíxiante; no solo podem restringir o crescimento de plantas.	• Monitor de gás de aterro.

12.2. PRINCIPAIS FONTES POLUIDORAS E SUAS CONSEQUÊNCIAS

12.2.1. DESMATAMENTO

O desmatamento é uma prática comum de eliminação da cobertura vegetal do solo, pela destruição de florestas, matas e campos nativos, com finalidades diversas, tais como: exploração comercial da madeira; abertura de novas pastagens e áreas agrícolas, em projetos agropecuários; exploração de recursos minerais e especulação imobiliária.

O desmatamento das florestas tem influência sobre o clima, gerando um ciclo vicioso. A chuva direta compacta o solo. Muita água corre e pouca se infiltra. Esta, causa **lixiviação** do solo, favorecida pela falta de raízes que capturem os nutrientes arrastados. A água que escoar superficialmente provoca **erosão**. Os rios se enchem e há inundação. Depois de uma ou duas semanas de sol há seca. A água não se infiltrou, não chegou até o nível do lençol freático, não pode alimentar fontes e vertentes. Os poços, rios e fontes secam, e os solos estão secos porque a chuva somente umedeceu a superfície. Com a seca, instala-se uma vegetação pobre. Quanto mais pobre a vegetação, mais prolongadas as secas e mais pavorosas as enchentes. O clima piora à medida que desaparecem as florestas e o solo se compacta. Por outro lado, há destruição dos habitats. Animais sem alimento e abrigo, migram ou morrem. As poucas espécies que se adaptam à nova paisagem, muitas vezes transformam-se em pragas.

Nas regiões semi-áridas, como em boa parte do nordeste brasileiro, a retirada da cobertura vegetal nativa torna-se muito mais agravante, pois a combinação solo nu, clima e uso inapropriado da terra pela população, resulta na **desertificação**.

Em resumo, o desmatamento tem como consequências:

- ◆ a disseminação de pragas nas lavouras;
- ◆ alterações do clima na região, pela modificação do regime de chuvas, que se tornam menos frequentes e muito mais violentas;
- ◆ contribui para a seca de corpos d'água (poços, rios, fontes, etc.);
- ◆ favorece aos fenômenos de lixiviação, erosão e desertificação.

12.2.2. FERTILIZAÇÃO

A fertilização dos solos consiste no uso de adubos, geralmente minerais, substituindo-se assim os elementos retirados pelas colheitas e levados para longe. A agricultura moderna utiliza doses cada vez maiores de adubos sintéticos em troca dos adubos tradicionais, como o esterco. A consequência é a redução no teor de húmus e a degradação da estrutura do solo. Quando utilizados em excesso, ocorre verdadeiro desperdício de nitratos: alguns são arrastados pelas chuvas e eutrofizam as águas; outros acumulam-se em vegetais, como o espinafre, que no intestino humano é transformado em nitritos tóxicos e em nitrosamidas cancerígenas. O excesso de adubos no solo perturba a fisiologia dos vegetais, que acabam florescendo mal e produzindo menos frutos e menos sementes.

O excesso de fertilizantes perturba o ciclo do nitrogênio na biosfera: o nitrogênio atmosférico, quando transformado em nitratos pela indústria e lançado no solo, em grande quantidade, rompe o equilíbrio natural entre fixação e desnitrificação, em benefício da fixação.

Mesmo a adubação natural com o uso de esterco, principalmente o de poçilgas, tem gerado poluição. Os esterco são ricos em nitratos, fosfatos, potássio, cálcio e magnésio, e, ainda, em cobre e zinco acrescentados à ração alimentar. Em virtude desta riqueza não podem ser lançados ao solo em grande quantidade, pois as plantas não podem absorver tudo o que recebem e o solo acaba poluído.

12.2.3. MONOCULTURA

Entende-se por monocultura o cultivo extensivo de um único tipo de vegetal em uma dada área. Tal prática é incompatível com a noção de ecossistema, pois trata-se de um sistema instável, onde um único vegetal nutre poucos animais, reduzindo a competição inter-específica, permitindo o surgimento de espécies oportunistas de plantas, animais e insetos, que se transformam em pragas. Por outro lado, a simplificação dos ecossistemas pela monocultura deixa o solo debilitado, isto porque explora a terra sempre da mesma forma e não permite que os ciclos de materiais se completem.

O restabelecimento do equilíbrio biológico dos solos debilitados ou destruídos pela monocultura, tem sido feito pelo método da rotação de culturas adequadas, uma vez que, a cada nova cultura, as plantas exploram o solo de maneira diferente e também o enriquecem com diferentes substâncias orgânicas, possibilitando uma microvida mais diversificada, pois cada plantio agrícola não é somente composto de plantas diferentes mas sim de ecossistemas diferentes.

12.2.4. IRRIGAÇÃO

A irrigação é um tipo de prática comum nas zonas áridas e semi-áridas, onde é necessário suprir a falta de água de chuva. Uma irrigação conduzida de forma incorreta tem como resultado a poluição do solo por sais, a **salinização**. A salinização resulta de dois fenômenos que muitas vezes agem simultaneamente: (a) a água de irrigação não penetra em profundidade nos solos pouco permeáveis, a maior parte da água evapora e os sais nela contidos depositam-se nas camadas superficiais; (b) a irrigação não acompanhada de uma drenagem eficaz, provoca a subida do lençol freático, que leva à superfície cloretos provenientes das camadas profundas. Como consequência,

há a formação do “**salino negro**”, associação de carbonato de sódio, sulfato de sódio e cloreto de cálcio, tornando o solo impróprio para a vida vegetal.

12.2.5. MINERAÇÃO

A mineração consiste na exploração da litosfera para obtenção de minérios úteis às atividades humanas. As maneiras de minerar subdividem-se em: cata (garimpo), cava (pedreira), minas de céu aberto, minas subterrâneas e sondas de perfuração (poços de sondagem). Todas geram degradação ambiental, porém destacam-se a seguir os principais aspectos negativos de duas delas.

O **garimpo** ou **cata** consiste na retirada de minérios que se encontram na superfície da Terra, concentrados nos sedimentos ainda inconsolidados e nas rochas sedimentares, tais como ouro, diamante e cassiterita. A cata, principalmente a mecanizada, tem como consequência:

- ◆ alteração do ecossistema, pela remoção de imensas áreas sedimentares;
- ◆ assoreamento de corpos d’água;
- ◆ contaminação do ambiente com produtos tóxicos, tais como mercúrio e cianeto, usados na separação e purificação do ouro;
- ◆ subemprego e degradação social das comunidades envolvidas;
- ◆ destruição das áreas indígenas;

A **mineração em pedreiras** ou **cavas** consiste na retirada de minérios localizados imediatamente abaixo do solo, tais como barro, areia, saibro, brita e bauxita, trazendo como consequências:

- ◆ buracos e depressões de uso duvidoso (em área urbana tornam-se depósitos de lixo);
- ◆ degradação de ecossistemas costeiros, causando erosão e até o desaparecimento de vastas áreas;
- ◆ remoção de grandes volumes de solo, para obtenção do mineral (bauxita), com grandes prejuízos para o ambiente;

12.2.6. QUEIMADA

A queimada é uma técnica comum utilizada para a limpeza de pastos e campos. A vantagem de promover a limpeza rápida do terreno e o enriquecimento do solo com as cinzas, tem perpetuado essa prática em várias regiões do mundo. Embora seja um método barato a curto prazo, é muito caro a longo prazo, pois promove a decadência do solo pela perda de minerais, volatilizados durante a queimada ou lixiviados pelas águas de chuva ou de irrigação.

Porém, o uso controlado do fogo pode trazer vantagens, como no caso de certas regiões, onde as queimadas são usadas na formação de pastagens, eliminando alguns arbustos nocivos ao gado e permitindo o desenvolvimento de plantas herbáceas que, além de boas pastagens, protegem melhor o solo contra erosão.

A queimada controlada raramente é maléfica, por não roubar do solo sua cobertura morta, mas somente eliminar o excesso de vegetação. Entretanto, quando feita de forma descontrolada, torna-se maléfica por:

- ◆ eliminar, pelo calor excessivo, os microrganismos presentes no solo, os quais são responsáveis por sua fertilidade;

- ◆ destruir, pelo calor, as sementes, caules e raízes de plantas que voltariam a se desenvolver, reconstituindo a cobertura vegetal original;
- ◆ promover a volatilização de substâncias coloidais responsáveis pela textura granular e bem arejada do solo, resultando no seu adensamento;
- ◆ promover a volatilização de substâncias nutritivas, causando o empobrecimento do solo;
- ◆ eliminar a cobertura vegetal, expondo o solo ao impacto das chuvas, favorecendo aos fenômenos de erosão e lixiviação;
- ◆ criar uma vegetação pastoril, ou de invasoras, próprias do fogo.

A queimada controlada, feita no período certo (início da estação seca), ou sua substituição por técnicas como o *Rolo-faca* ou outras técnicas que conservam os solos, tem sido vantajosa. Estas técnicas são mais caras que o fogo, porém garantem a continuidade de produção, tornando-se, a longo prazo, muito mais baratas.

12.2.7. AGROTÓXICOS

Os agrotóxicos, defensivos agrícolas ou pesticidas são produtos químicos, naturais ou sintéticos, utilizados pelo homem com a finalidade de eliminar “pragas” animais ou vegetais, causadores de consideráveis estragos nas culturas e nas florestas homogêneas. Além do seu emprego na agricultura, encontra aplicação em campanhas de saúde pública, residências, hotéis, bares, restaurantes, escritórios, etc e na proteção de alimentos. O número de pesticidas atualmente existentes no mercado deve situar-se entre 10.000 e 20.000 preparados.

Em função do agente que combatem, os agrotóxicos podem ser divididos em: **inseticidas** - combatem os insetos; **herbicidas** - ervas daninhas; **fungicidas** - fungos; **formicidas** - formigas; **acaricidas** - ácaros (carrapato); **bactericidas** - bactérias; **nematicidas** - nematóides (vermes); **raticidas** - ratos e **rodenticidas** - outros roedores.

Três características são importantes nos agrotóxicos: a **toxidez**, a **seletividade** e a **persistência**. A toxidez diz respeito à sua capacidade de eliminar pragas. A seletividade à sua capacidade de eliminar apenas determinada espécie de praga. A persistência à sua capacidade de permanecer ativo no ambiente. Os agrotóxicos podem ser classificados por categoria química em: organoclorados, fosforados, carbamatos, químicos naturais, mercuriais e arseniais.

O poder de intoxicação dos agrotóxicos é comumente expresso em termos da **Dose Letal**. A Dose Letal ou DL 50 exprime a dose que provoca a morte de 50% das “cobaias” expostas ao produto. Assim, os agrotóxicos são classificados em diferentes classes toxicológicas e identificados por faixas coloridas com um aviso expresso sobre elas - cuidado veneno ou altamente tóxico ou muito perigoso, etc .

12.2.7.1. EFEITOS TÓXICOS

Os efeitos tóxicos dos defensivos agrícolas variam de acordo com a sua categoria química. No homem, a penetração pode ser por via dermal, oral ou respiratória, podem provocar sudorese, visão turva, intensa secreção nasal, dor de cabeça, tonturas, vômitos, fortes cólicas abdominais, diarreias, confusão mental, febre, perda de peso, debilitação geral, angústias, dificuldades respiratórias, problemas cardíacos, choque e morte.

Dentre os químicos naturais, destacam-se os piretróides (derivado da flor do Crisântemo) que têm elevada toxicidade aguda para mamíferos que os absorvem por todas as vias. Têm baixa persistência e são os inseticidas mais usados nas residências na forma de *sprays* ou em aparelhos ligados à tomada elétrica. Exemplos: *Aletrina, Permetrina, Cismetrina e Bioresmetrina*.

Os organoclorados têm toxicidade crônica e são absorvidos por via oral, respiratória e dérmica, e sendo lipossolúveis, são persistentes e depositam-se na gordura animal, inclusive humana, sendo consequentemente cumulativos. Sua ação residual pode determinar o aparecimento de tumores malignos. Exemplos: *BHC, DDT, DDD, Aldrin, Endrin e Lindane*.

Os fosforados, embora sejam eficientes para matar insetos, também são venenosos para aves e mamíferos, incluindo-se o homem. São absorvidos pelas vias dérmica, digestiva e respiratória. Esses inseticidas são tóxicos agudos, mas de vida breve. Exemplos: *Parathion, Malathion, TEPP, Diclorvos e Endothion*.

Considerados menos tóxicos que os fosforados e menos persistentes que os organoclorados, os carbamatos são frequentemente usados em residências no combate a traças, baratas e formigas. São absorvidos pelas três vias, mas rapidamente metabolizados (2 a 3 dias) e eliminados pelas fezes e urina. Exemplos: *Baygon, Carbaril (Sevin), Mobam, Propoxur, Aldicarb, Metomil e Carbofuram*.

12.2.7.2. CONSEQUÊNCIAS

A ação nefasta dos agrotóxicos pode ser resumida nos seguintes tópicos:

- ◆ destroem a microflora e microfauna dos solos;
- ◆ acumulam-se nos ecossistemas, podendo perdurar por vários anos;
- ◆ armazenam-se nos alimentos e, em certas quantidades, podem produzir efeitos danosos à saúde;
- ◆ provocam o aparecimento de espécies resistentes que se tornam mais difíceis de serem eliminadas;
- ◆ formam resíduos tóxicos que, em certas doses, provocam a mortandade de peixes e outros animais aquáticos quando lançados em corpos d'água;
- ◆ contaminam os alimentos, através de resíduos remanescentes no solo (originários de culturas anteriores e absorvidos pelas novas culturas) ou através de doses excessivas;
- ◆ interferem no tratamento das águas nas estações;
- ◆ causam distúrbios a curto e longo prazo à saúde humana;
- ◆ poluem indistintamente a água, o ar e o solo.

O uso dos agrotóxicos tem inúmeros benefícios como: aumento das colheitas; aumento da produção de leite e de carne; diminuição das perdas de alimentos em armazéns; diminuição da mão-de-obra nas atividades agrícolas; erradicação de epidemias perigosas; melhor higiene pessoal; desinfecção de instalações e equipamentos. Tais usos justificam a sua aplicação, desde que seja observada a legislação oficial sobre o assunto (Lei Federal nº 7.602/89).

12.2.7.3. RECOMENDAÇÕES PARA O USO

No sentido de evitar problemas ambientais decorrentes do uso errôneo dos agrotóxicos, recomenda-se:

- ◆ aqueles altamente tóxicos, só devem ser utilizados por órgãos especializados, sob controle de autoridades sanitárias competentes;
- ◆ nos domicílios, mesmo os compostos conhecidos como caseiros, devem ser aplicados com o máximo de cuidados, para não contaminar os alimentos ou causar danos aos animais e às pessoas;
- ◆ na agricultura, a utilização dos pesticidas deve obedecer a um planejamento, no qual sejam observados: proteção dos recursos hídricos; uso de defensivos convenientes para cada problema; localização dos depósitos longe das residências; não lavar os vasilhames de aplicação nos cursos d'água; evitar a queima ou enterramento dos materiais imprestáveis; adotar medidas de proteção dos aplicadores;
- ◆ sempre que seja tecnicamente possível, substituir os pesticidas, total ou parcialmente, por outros métodos como: *Controle Biológico, Luta Integrada, Esterilização, Manipulação Genética, etc.*

12.2.8. LIXO

É todo material resultante das atividades humanas, sem valor suficiente para ser conservado pelos seus geradores, e que não pode fluir diretamente para a água, o ar ou o solo.

A objeção do lançamento do lixo no ambiente dá-se por quatro razões principais:

- ◆ **risco à saúde pública** - o lixo abriga microrganismos infecciosos e vetores de doenças, polui o ar, a água e o solo, representando sérios riscos à saúde e segurança da população;
- ◆ **objeções estéticas** - o acúmulo do lixo causa danos à paisagem, como é o caso do lixo abandonado nas ruas, terrenos baldios, estradas ou mesmo depositados a "céu aberto" em grandes áreas. O vento e a chuva podem dispersar parte destes materiais, causando problemas em áreas distantes;
- ◆ **ocupação de espaço** - o lixo, onde quer que seja lançado, ocupa espaço. Quando chega à área destinada à disposição final, o valor das terras torna-se muito baixo, pois a digestão do lixo com geração de gás, pode prejudicar a utilização da terra por muitos anos, mesmo após o abandono da área;
- ◆ **degradação dos recursos naturais** - o manejo inadequado do lixo causa poluição das águas - pelo "chorume" que altera a sua qualidade e os sólidos que entopem corpos d'água; poluição do solo - pela alteração da sua composição química e presença de material tóxico; e poluição do ar - pelos gases tóxicos e mal cheirosos, com conseqüências diretas e indiretas sobre a fauna e flora locais, e sobre o próprio homem.

O lixo tem sua quantidade e qualidade determinadas pelos padrões culturais e econômicos da sociedade, e pode ser classificado de várias formas:

- ◆ por sua origem: rural e urbano;
- ◆ por sua composição química: orgânico e inorgânico;
- ◆ pelos riscos potenciais ao meio ambiente: tóxico e não tóxico;
- ◆ pela sua procedência: domiciliar (residências), comercial (escritórios, lanchonetes, lojas, etc.), industrial (indústrias em geral), público (feiras, mercados, poda, varrição, etc.), hospitalar (clínicas, postos de saúde, hospitais, etc.), radioativo (usinas nucleares).

O lixo domiciliar tem composição muito variável. Numa mesma região, pode variar entre cidades, bairros, ruas e até mesmo entre casas. Depende das características do clima, do padrão de vida e dos hábitos da população. É constituído basicamente de: papel, plástico, vidro, metal, matéria orgânica putrescível e outros materiais (Quadro 12.2). Muitos desses resíduos, por serem tóxicos, são potencialmente perigosos (Quadro 12.3).

Quadro 12.2: Composição percentual média do lixo domiciliar.

Componentes	B. Horizonte	S. Paulo	Fortaleza	Salvador
Papel	16,77	14,43	22,59	19,00
Metal	3,22	3,24	7,34	4,00
Vidro	2,07	1,10	3,32	4,00
Plástico	1,90	12,08	8,20	11,00
Outros*	76,04	69,15	58,55	62,00

* Matéria orgânica em boa parte.

Fonte: IPT/CEMPRE (1995).

Quadro 12.3: Lixo domiciliar potencialmente perigoso.

Tipo	Produtos
• Material de pintura	• tintas, solventes, pigmentos e vernizes.
• Produtos para jardinagem e animais	• inseticidas, repelentes, herbicidas.
• Produtos para motores	• óleos lubrificantes, fluídos de freio e transmissão, baterias.
• Outros itens	• pilhas, frascos de aerossóis em geral, lâmpadas fluorescentes.

Fonte: IPT/CEMPRE (1995).

Segundo o IBGE (1980), cada morador urbano no país produz, em média, 220 kg de lixo domiciliar por ano. Se for acrescentado o lixo das indústrias, do comércio e dos hospitais, a média sobe para 500 kg/pessoa e por ano. O problema é a destinação desse lixo, pois o que é recolhido representa muito pouco em relação ao que não é: a cada 100 kg gerados 63 kg são jogados em córregos e rios, 34 kg são atirados em terrenos baldios e somente 3 kg são recolhidos pelo serviço de limpeza pública. Além disso, 76% do lixo coletado tem destino inadequado (IBGE, 1980).

12.2.8.1. SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA DO LIXO

A responsabilidade pelo gerenciamento do lixo é do poder público (Prefeituras), porém, no caso dos resíduos industriais e hospitalares, a responsabilidade é do gerador. O gerenciamento do lixo abrange desde o acondicionamento até o seu destino final, que deve ser feito de tal maneira que não cause degradação ambiental.

ACONDICIONAMENTO → COLETA → TRANSPORTE → TRATAMENTO E/OU DISPOSIÇÃO FINAL

Dependendo do tipo, da disponibilidade de espaços e de recursos, o problema da destinação final do lixo pode ser resolvido através de uma ou de combinações de algumas soluções enumeradas a seguir:

- ◆ disposição ordenada de lixo em **Aterros Sanitários** (Figura 12.2), **Aterros Controlados** e **Lixões**. Este último é o mesmo que descarga a céu aberto, muito comum em nosso país. Trata-se porém de uma forma inadequada de disposição, na qual o lixo é lançado ao solo sem as medidas de proteção sanitária utilizadas nos aterros sanitários;
- ◆ tratamento em **Biodigestores**, com aproveitamento de gás;
- ◆ queima de lixo em **Incineradores**, para redução de volume;
- ◆ degradação dos materiais orgânicos presentes no lixo, através da **Compostagem**, resultando em um **composto** que é usado como adubo condicionador de solos;
- ◆ separação de produtos úteis a partir do lixo, como plásticos, vidros, sucatas e papéis, e tratamento através da **Reciclagem**.

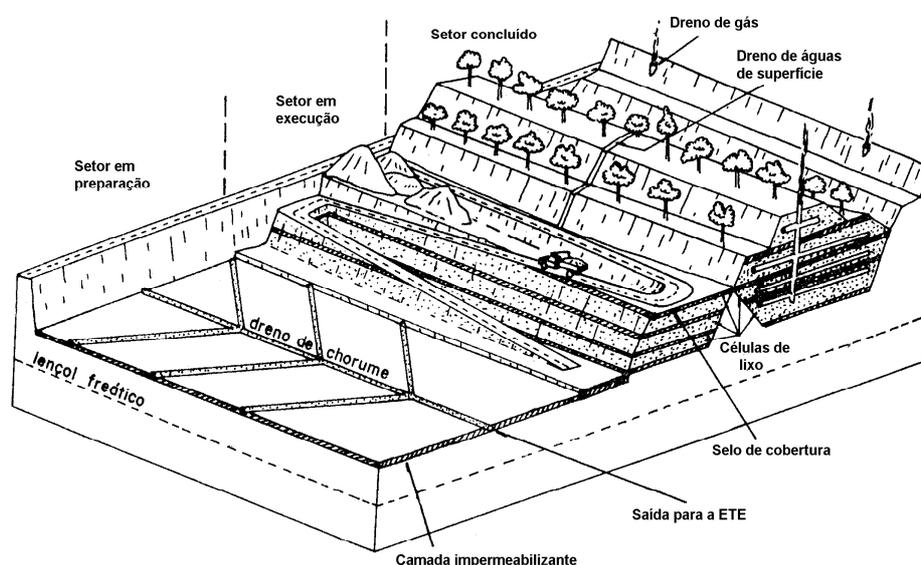


Figura 12.2: Aterro sanitário. (IPT/CEMPRE, 1995)

A poluição dos solos pelo lixo é um problema global e a tendência mundial das políticas ambientais neste campo é a ênfase aos “4R”: **Reduzir**, **Reutilizar**, **Recuperar** e **Reciclar**.

- ◆ **Reduzir** - diminuir o volume e o peso do lixo. Boa parte do lixo constitui-se de embalagens, muitas das quais são totalmente desnecessárias;
- ◆ **Reutilizar** - buscar vasilhames que podem ser utilizados mais de uma vez, como as garrafas de vidro para leite, refrigerante, água, etc. e certas embalagens reaproveitáveis;
- ◆ **Recuperar** - obter novamente o material para voltar a usá-lo. Muitas vezes, trata-se de matérias primas de processos industriais ou de reobtenção de metais, óxidos, etc.
- ◆ **Reciclar** - coletar o material e voltar a processá-lo. Isto permite um novo uso, ainda que nem sempre se obtenha uma qualidade igual à inicial. Evita-se gasto de matéria prima e energia. Este método se aplica a papel - poupam-se árvores, plástico - poupa-se petróleo, vidro - poupam-se barrilha e areia de praia, e metal - poupam-se minérios diversos. Calcula-se que o a-

alumínio reciclado de latas representa uma economia energética de 90%, com o vidro chega-se a 30% e no caso do papel pode-se atingir 60%. A reciclagem exige coleta seletiva dos materiais. Para facilitar a identificação destes, foram criados símbolos internacionais padronizados (Figura 12.3), que devem constar nas embalagens e produtos reciclados ou passíveis de reciclagem.

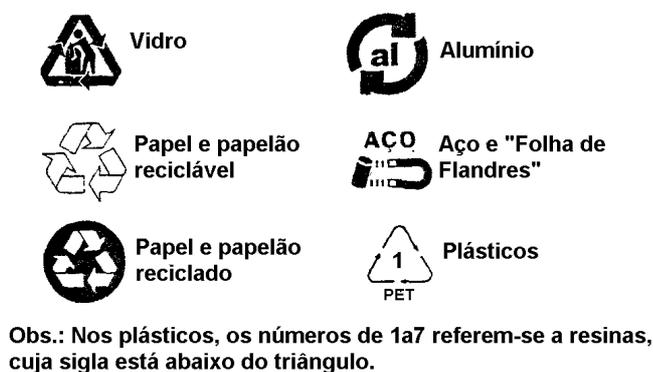


Figura 12.3: Identificação de materiais recicláveis e reciclados.

(SILVA, T. B. e OLIVEIRA, W. B., 1992)

12.3. EXERCÍCIO DE FIXAÇÃO 12

1. Que fatores naturais influenciam na formação dos solos?
2. Enumere três poluentes dos solos, com suas respectivas fontes e conseqüências.
3. Como a fertilização de terras agrícolas pode influenciar no ciclo do nitrogênio?
4. Explique o processo de salinização dos solos.
5. Enumere as conseqüências da mineração através dos processos cava e cata.
6. Em que situação as queimadas podem ser vantajosas para os ecossistemas?
7. Em que diferem os vários tipos de agrotóxicos? Como é expresso o poder de intoxicação dos agrotóxicos?
8. Enumere algumas conseqüências do uso dos agrotóxicos.
9. Quais as objeções do lançamento dos resíduos sólidos no ambiente?
10. No processo de gerenciamento do lixo, que significa “4R”?

13. POLUIÇÃO DO AR

A atmosfera é o mais importante de todos os componentes não só do clima, como também da manutenção da vida na Terra. A sua estrutura vertical está dividida em várias regiões horizontais, de baixo para cima. A primeira, a **troposfera**, contém 75% da massa gasosa de toda atmosfera, todo vapor de água e praticamente todos os aerossóis. Nesta, à medida que se sobe, a temperatura cai, numa média de aproximadamente 1°C para cada 100 metros, até o chamado “teto do tempo” ou “**tropopausa**”, camada onde se processa uma inversão térmica e que fica mais ou menos a 8 km de altura nos polos e a 16 km no equador. A segunda região, a **estratosfera**, estende-se da tropopausa até uns 50 km de altitude. Nesta, as variações de temperatura são muito violentas, entre - 80 °C e - 40 °C. A atmosfera superior começa aí, com o nome de **mesosfera**, que vai até 90 km de altitude, onde tem início a **ionosfera**, que vai até cerca de 1.000 km.

O estudo de poluição do ar restringe-se à baixa atmosfera, que compreende a troposfera e a estratosfera. Nesta região, o ar atmosférico é uma mistura composta essencialmente de nitrogênio, oxigênio, dióxido de carbono e vapor de água, que constitui o ar que respiramos. Além desses gases, outros constituintes como argônio, hélio, metano, amônia, ozônio, emanações radioativas, poeiras, organismos vivos, etc, podem ser encontrados no ar, cuja composição varia grandemente, não só em função das características físicas locais, como também pela presença do homem (Quadro 13.1).

Quadro 13.1: Composição do ar atmosférico normal (não poluído) e do ar poluído.

Componente	Ar normal	Ar poluído
• Nitrogênio	78,09%	78,09%
• Oxigênio	20,94%	20,94%
• Argônio	0,93%	0,93%
• Dióxido de carbono	305-370 ppm	330-550 ppm ⁸
• Monóxido de carbono	0,12-0,90 ppm	10-360 ppm
• Dióxido de enxofre	0,0002 ppm	0,01-0,06 ppm
• Dióxido de nitrogênio	0,0005-0,02 ppm	0,12-0,25 ppm
• Amônia	0,006-0,010 ppm	0,075-0,285 ppm

O estado higrométrico do ar, a existência de indústrias poluidoras e de grande número de veículos trafegando em uma cidade, alteram as concentrações dos vários constituintes do ar normal nas áreas industriais e centros urbanos densamente povoados, originando o fenômeno da poluição atmosférica. Entende-se a poluição do ar como sendo as **modificações sofridas pela atmosfera natural, que possam, direta ou indiretamente, causar prejuízos ao homem, criando condições nocivas à sua saúde, segurança e bem-estar, prejuízos à fauna e à flora e, ainda, prejuízos aos demais recursos naturais em todas as suas utilizações consideradas normais.**

⁸ Partes por milhão.

A poluição atmosférica ocorre de maneira semelhante à da água. Quando a quantidade de poluentes não é grande, pode haver uma dispersão dos mesmos no ar, sem maiores problemas. Porém, aumentando-se a concentração destes na atmosfera, não há condições de autodepuração do ar, que passa a ser prejudicial. Por isto, os problemas de poluição atmosférica são graves nas cidades, onde veículos, indústrias e outras fontes poluidoras, estão constantemente lançando poluentes no ar, não permitindo que estes sejam convenientemente dispersos.

13.1. PRINCIPAIS FONTES DE POLUIÇÃO DO AR

As fontes poluidoras do ar podem ser classificadas em dois grupos:

- ◆ **processos de combustão** - cujos poluentes originam-se da combustão em: incineradores, veículos automotores, centrais térmicas, etc.;
- ◆ **processos industriais** - cujos poluentes têm origem em algum processo industrial: siderúrgico, petroquímico, químico (fertilizante), alimentício, etc..

As fontes devido à combustão, principalmente a combustão incompleta que ocorre nos meios de transporte em geral, são responsáveis pela maior parcela de poluição atmosférica nos centros urbanos. Os dados levantados na década de setenta na grande São Paulo, nos Estados Unidos e na Alemanha, mostrados no quadro 13.2, confirmam a citação anterior.

Quadro 13.2: Contribuições das fontes poluidoras em três regiões diferentes.

Fontes	Brasil (SP)	EUA	Alemanha
• Transporte de toda natureza	40,0%	50,6%	40,0%
• Queima de combustíveis em fontes fixas	30,0%	21,2%	30,0%
• Processos industriais	25,0%	17,2%	30,0%
• Outras fontes	5,0%	11,0%	-

Naturalmente, a presença de grande número de indústrias no local, lançando, sem qualquer tratamento, poluentes na atmosfera, altera completamente o quadro acima. As queimadas, eventuais incêndios em matas, disposição inadequada de resíduos sólidos e líquidos, etc., também causam poluição atmosférica, constituindo eventuais fontes poluidoras.

13.2. PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Os poluentes atmosféricos tanto podem ser substâncias que normalmente não estão presentes no ar, como podem ser um de seus constituintes normais produzidos por atividades humanas em quantidades excessivas (por exemplo o CO₂).

Alguns poluentes apresentam-se na forma de gases (CO_x , SO_x , etc.), outros na forma de partículas em suspensão no ar (sílica, pólen, fungos, pesticidas, amianto, etc.), provenientes das mais variadas fontes. O material particulado, em suspensão na atmosfera, forma com esse meio gasoso o que se denomina de **aerossóis** (partículas finas, sólidas ou líquidas, com diâmetros menores que 10 microns).

Quanto à sua origem, os poluentes atmosféricos podem ser classificados em: primários e secundários. São poluentes primários, aqueles que se encontram no ar da mesma forma em que foram emitidos pela fontes (SO_2 , H_2S , CO_2 , etc.). São poluentes secundários aqueles formados na atmosfera, pela interação entre dois poluentes primários ou entre poluentes primários e os constituintes normais do ar (H_2SO_4 , PAN, etc.).

Em função de características locais como padrão climático, urbanização e grau de industrialização, o ar urbano pode apresentar proporções variáveis de substâncias poluentes, dentre elas as mais comuns são: óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de carbono (CO_x), hidrocarbonetos (HC) e material particulado (MP). Por estarem sempre envolvidas nos fenômenos de poluição do ar, tais substâncias são apontadas como os principais poluentes atmosféricos (Quadro 13.3).

Quadro 13.3: Principais poluentes atmosféricos.

Poluente	Origem	Monitoramento
• Monóxido de carbono (CO).	• Combustão incompleta de materiais carbonados. Os veículos automotores constituem a principal fonte.	• Espectrofotometria de infravermelho não-dispersivo.
• Dióxido de carbono (CO_2).	• Ocorre naturalmente, mas também é produzido na combustão de materiais carbonados para produção de energia. Queimadas.	• Espectrofotometria de infravermelho não-dispersivo.
• Óxidos de nitrogênio (NO_x).	• Produzido naturalmente por vulcões. Queima de combustíveis fósseis. Queimadas.	• Método da quimioluminescência.
• Dióxido de enxofre (SO_2).	• Produzido naturalmente por vulcões. Queima de combustíveis fósseis. Processos industriais.	• Método da pararosanelina.
• Material particulado (MP).	• Indústrias, mineração, veículos, queimadas e construção civil.	• Amostrador de grandes volumes (em suspensão) e Jarro de deposição de poeira (sedimentáveis).
• Hidrocarbonetos (HC).	• Evaporação e queima de combustíveis fósseis em veículos automotores e na indústria.	• Método da ionização de chama.

13.3. FATORES QUE AFETAM A POLUIÇÃO DO AR

Dentre os fatores naturais que determinam a severidade da poluição do ar ou as condições de autodepuração da atmosfera, os mais importantes são: os fatores meteorológicos e as condições topográficas.

13.3.1. FATORES METEOROLÓGICOS

As condições de autodepuração da atmosfera são diretamente influenciadas pelo movimento do ar para diluir gases e partículas, e facilitar a sua remoção por precipitação, lavagem e reações químicas. Três fatores são particularmente importantes: a temperatura, as precipitações e os ventos.

- ♦ **Temperatura.** A condição meteorológica desejável para dispersar poluentes no ar é a instabilidade térmica, porque os gases devem subir, expandir-se e espalhar-se. Para que exista esta condição, a temperatura na troposfera deve tornar-se gradativamente mais fria, à medida que se sobe. Nestas condições, o deslocamento dos poluentes se processa em regime adiabático, onde a massa de ar quente e menos densa que o ambiente ao redor irá ascendendo e espalhando-se nas camadas superficiais mais frias da troposfera. Ocasionalmente, contudo, podem ocorrer condições estáveis no ar atmosférico, que suprimem esse movimento vertical. Isso é uma **inversão térmica**, condição em que uma camada de ar quente fica aprisionada entre duas camadas frias. Quando os gases são liberados no ar frio, sobem até atingir a camada quente então param. Em regiões urbanas, os poluentes ficam presos sob a camada quente, podendo acumular-se durante dias, criando um ar escuro e nocivo (Figura 13.1).

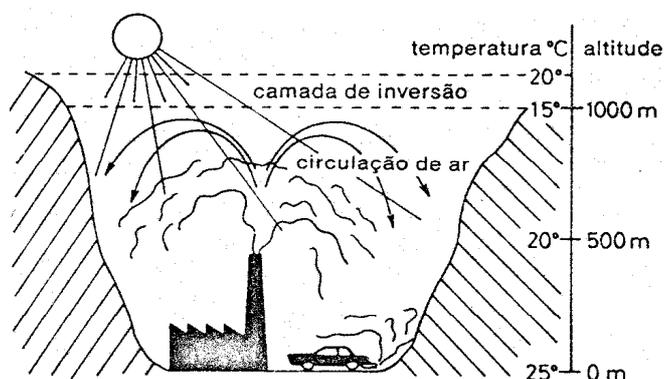


Figura 13.1: Inversão térmica (FELLENBERG, F.,1980).

- ♦ **Precipitações.** Os poluentes podem ficar retidos numa precipitação, seja quando a gota de chuva está em formação, seja quando ela cai. Partículas grandes são particularmente eliminadas com grande eficiência por esse processo. A aglutinação e as reações químicas removem ainda outras, e algumas moléculas de gás são removidas por adsorção às partículas. Nesse contexto, a precipitação oferece um dos numerosos mecanismos que podem deixar o ar isento de poluentes: uma chuva uniforme, na proporção de 1 mm/h, durante 15 minutos, poderá reti-

rar cerca de 20% do MP ($\varnothing >10$ microns) em suspensão na atmosfera. Mas, por outro lado, por esse processo, a poluição do ar pode ser transferida total ou parcialmente à água e ao solo.

- ♦ **Ventos.** Os ventos favorecem a dispersão de poluentes no ar, arrastando-os para locais mais afastados de suas fontes. Logo, as características de direção e velocidade dos ventos dominantes são fatores importantes no estudo da difusão de poluentes atmosféricos. Se uma cidade tiver ventilação vantajosa, espaço aberto em volta e brisas frequentes, a poluição atmosférica raramente se constituirá num problema crítico. Por outro lado, os ventos também levam os poluentes de uma população para outra. É possível calcular as condições médias de vento num período de tempo, para qualquer lugar em particular, e com isso, pode-se determinar as populações mais afetadas por qualquer fonte em especial. Ainda com relação aos ventos, quando fortes, criam condições de turbulência na atmosfera dispersando poluentes e misturando as camadas de ar. Desse modo, não existe inversão térmica quando sopram ventos fortes, estas ocorrem em condições de ventos fracos ou em calmarias.

13.3.2. CONDIÇÕES TOPOGRÁFICAS

A topografia refere-se às irregularidades ou às configurações da superfície de um terreno. As irregularidades podem ser naturais, tais como colinas, ou artificiais, como edifícios, tanto uma como a outra têm influência na circulação do ar. A presença de um vale é geralmente desfavorável à dispersão de poluentes, pois as camadas de ar frio, mais densas, se acumulam no fundo do vale, determinando um gradiente anormal de temperatura que acentua a estabilidade atmosférica. Neste caso, a poluição do ar se intensifica porque os poluentes não têm liberdade de movimento nem vertical, nem horizontal. Com relação às barreiras artificiais, uma brisa contra os edifícios pode criar turbulência, favorecendo a mistura e diluição dos poluentes.

13.4. AUTODEPURAÇÃO DA ATMOSFERA

Quando os poluentes são liberados para a atmosfera, eles se dispersam influenciados por suas próprias características, pela altura da fonte e pelo grau de turbulência da atmosfera ambiente. O grau de turbulência por sua vez, depende de três fatores: topografia, ventos e temperatura. A topografia influencia diretamente na turbulência, uma vez que quando o ar passa sobre uma superfície rugosa tende a acompanhar as ondulações e também fluir em torno dos obstáculos, gerando turbulência vertical e horizontal. Os deslocamentos de ar - ventos - constituem perturbações do meio, contribuindo também para aumentar a turbulência. A temperatura, por sua vez, também influencia gerando condições de turbulência quando a atmosfera está termicamente instável.

Uma vez emitidos pelas fontes poluidoras, durante o transporte e a dispersão, os poluentes podem estar sujeitos a processos como: deposição úmida (chuva, neve), deposição seca (gravitacional), decomposição pela radiação solar e transformações químicas. Todos esses processos associados à turbulência da atmosfera garantem a capacidade de autodepuração do ar, conforme pode ser visualizado no comportamento da pluma ao ser liberada para a atmosfera na figura 13.2.

13.5. CONSEQÜÊNCIAS DA POLUIÇÃO DO AR

As conseqüências da poluição do ar vão desde o comprometimento da saúde, dos bens materiais e dos recursos naturais do homem, a nível local ou regional, até conseqüências globais envolvendo todos os recursos do planeta.

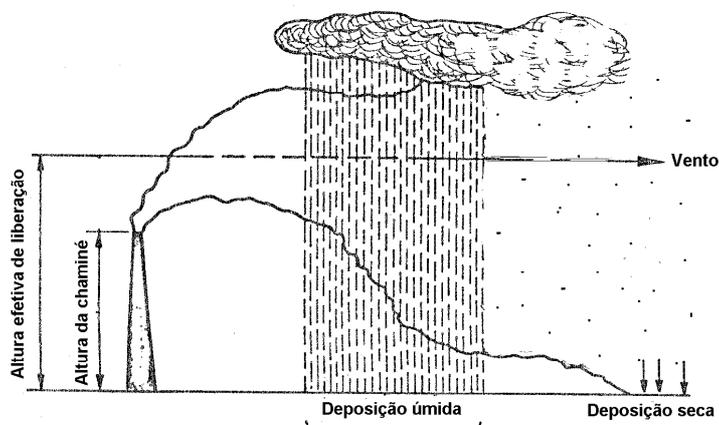


Figura 13.2: Comportamento de poluentes na atmosfera
(Dossiê do Curso Avaliação de Impactos Ambientais, 1987).

O efeito preciso da poluição do ar sobre a saúde, usualmente não pode ser previsto, porque uma pessoa normalmente está exposta a uma mistura de poluentes e a resposta humana à poluição é influenciada por fatores como a idade, o estado geral de saúde e desgaste físico, bem como pela intensidade e a duração da exposição. De um modo geral, a maioria das vítimas não morre durante os períodos críticos. Elas contraem uma doença respiratória ou um outro sintoma associado com a poluição do ar, enfraquecem gradativamente, para depois morrerem tipicamente de pneumonia, ataque do coração ou falha em algum órgão vital; ou geram crianças com defeitos congênitos; ou, ainda, desenvolvem algum tipo de doença, como o câncer, causada por diversos fatores associados com a poluição do ar.

A seguir, serão abordadas as conseqüências dos principais poluentes atmosféricos sobre os seres vivos e os materiais, as conseqüências do tabagismo e os efeitos globais de determinados poluentes.

13.5.2. EFEITOS SOBRE OS SERES VIVOS E MATERIAIS

O quadro 13.3 resume as conseqüências dos principais poluentes atmosféricos sobre os seres vivos e os materiais.

Quadro 13.3: Conseqüências de alguns poluentes sobre os seres vivos e materiais.

Poluente	Conseqüências
• NO _x - Óxidos de nitrogênio	• Irritam severamente olhos e pulmões; provocam afecções respiratórias e alterações sangüíneas (cianose); destroem a clorofila, bloqueando a fotossíntese e produzindo lesões nas folhas; causam edema pulmonar; deterioram borracha, produtos sintéticos e

	tecidos; alteram a coloração das pinturas; favorecem ao envelhecimento precoce; contribuem para o fenômeno da chuva ácida.
<ul style="list-style-type: none"> • MP - Material particulado 	<ul style="list-style-type: none"> • Causa problemas estéticos: suja com fuligem os prédios e a paisagem; produz bruma e reduz a visibilidade; irrita mucosas e brônquios; carrega poluentes tóxicos para os pulmões; reduz progressivamente a área respiratória, matando por asfixia (Silicose, Asbestose, Pneumoconiose, etc.); reduz a produção de vitamina D em recém-nascidos; causa danos às plantas, modificações no clima terrestre; distúrbios digestivos, anemia, nervosismo, paralisia (Chumbo); câncer nas vias respiratórias (Asbesto).
<ul style="list-style-type: none"> • HC – Hidrocarbonetos 	<ul style="list-style-type: none"> • Formam névoa escura e amarelada sobre as cidades; irritam olhos e mucosas; alguns são cancerígenos.
<ul style="list-style-type: none"> • SO_x - Óxidos de enxofre 	<ul style="list-style-type: none"> • Irritam as vias respiratórias; causam espasmos dos bronquíolos; destroem a clorofila, bloqueando a fotossíntese; provocam lesões e amarelecimento das folhas; corroem ferro, aço e mármore; atacam as pinturas calcárias; causam danos irreversíveis aos pulmões, quando combinados com partículas; provocam a acidez da chuva.
<ul style="list-style-type: none"> • CO_x - Óxidos de carbono 	<ul style="list-style-type: none"> • O CO quando em níveis baixos, agrava o coração e reduz a habilidade de funcionamento do cérebro. Em elevadas concentrações, causa a morte por asfixia; o CO₂ é o principal responsável pelo efeito estufa.

13.5.1. CONSEQÜÊNCIAS DO TABAGISMO

Dentre os muitos tipos de poluentes atmosféricos, merece destaque a fumaça do cigarro. As folhas do tabaco são preparadas de tal forma a manter um certo grau de umidade. Esta é responsável pelo ardor contínuo do cigarro, sem chamas, e pela formação de vapor d'água. Junto com o vapor, ocorre a destilação de uma série de substâncias, dentre elas a nicotina. Com a inalação da fumaça, ocorre a absorção, pelo sangue, de alguns de seus componentes, o que compromete a saúde de fumantes e não fumantes. Na figura 13.3, encontram-se enumerados alguns poluentes associados ao cigarro e suas conseqüências no organismo humano. O hábito do tabagismo em ambientes fechados está cada vez mais desaparecendo, em virtude da pressão exercida pelos órgãos de saúde, pois bastam alguns cigarros para comprometer a qualidade do ar.

13.5.3. EFEITOS GLOBAIS

No estudo da poluição atmosférica, distinguem-se três grandes problemas mundiais: a Chuva Ácida, o Efeito Estufa e o Buraco na Camada de Ozônio.

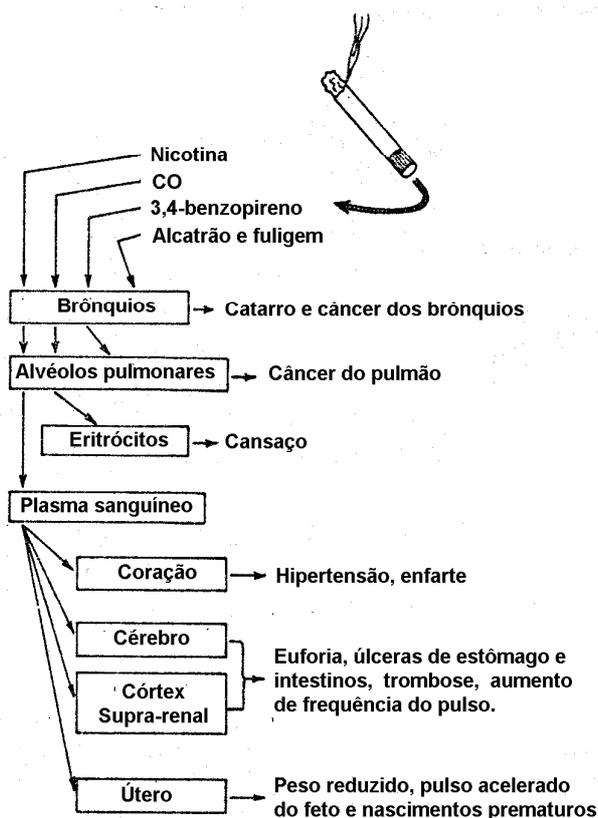


Figura 13.3: Efeitos do cigarro no homem. (FELLENBERG, F.,1980)

13.5.3.1. A CHUVA ÁCIDA

Convencionalmente, é considerada ácida a chuva que apresenta valores de pH menores do que 5,6. O pH define o grau de acidez de uma solução, ou seja, o teor de íons hidrogênio (H^+) livres. O decréscimo de uma unidade de pH significa um aumento de dez vezes na concentração do íon hidrogênio. Na chuva, valores de pH inferiores a 5,6 resultam da presença dos ácidos sulfúrico (H_2SO_4) e nítrico (HNO_3), os quais em fase aquosa encontram-se dissociados, isto é, sob a forma de íons hidrogênio (H^+), nitrato (NO_3^-) e sulfato (SO_4^{2-}), tornando assim a chuva mais ácida em decorrência de maior concentração do íon hidrogênio.

Os ácidos sulfúrico e nítrico originam-se de reações que ocorrem na atmosfera entre os óxidos de nitrogênio (NO e NO_2), o dióxido de enxofre (SO_2) e outras espécies químicas (HO^+) presentes no ar. Os óxidos de nitrogênio e de enxofre presentes na atmosfera, têm origem em fontes naturais e artificiais. Em escala global, 50% do SO_2 e 65% dos NO_x , resultam de fontes artificiais.

Em várias regiões da Europa e Estados Unidos, não são raras as chuvas com pH inferior a 3,0. Tal grau de acidez da chuva tem sido apontado como responsável por algumas alterações ecológicas, como aumento da mobilidade química de metais potencialmente tóxicos presentes no solo, o que os torna disponíveis à cadeia alimentar, tanto terrestre como aquática, e a perda de nutrientes do solo pelo aumento da lixiviação. Tais alterações têm como consequência a queda da produtividade das lavouras, além da intoxicação e mortandade da fauna. Nos mananciais de abaste-

cimento público, com o aumento da acidez, a água torna-se capaz de solubilizar, de canalizações, certos metais bioacumuladores e neurotóxicos, como chumbo e cádmio, interferindo assim na saúde do próprio homem.

Em nosso país, estudos realizados na cidade de São Paulo, em 1987, indicam pH da ordem de 4,5 na média anual, tendo-se, até o momento, percebido aumento da corrosão em automóveis e monumentos, e maior incidência de problemas no aparelho respiratório do homem. A ação drástica das emissões ácidas no país está em Cubatão-SP, na região Sul de Santa Catarina e no Rio Grande-RS. Em Cubatão, a Mata Atlântica da Serra do Mar foi extinta pelas emissões gasosas ácidas e particuladas das fábricas. No Rio Grande-RS, a Refinaria de Petróleo Ipiranga e indústrias de fertilizantes emitem, respectivamente, SO₂ e partículas contendo fluoretos, dentre outros poluentes, gerando alta incidência de doenças pulmonares, corrosão acelerada, destruição de hortas e jardins, e, ainda no campo, alta incidência de lesões ósseas e dentárias no gado, típicas de fluorose. Em Santa Catarina, a devastação ambiental está associada às emissões ácidas e aos metais pesados dos rejeitos da mineração de carvão a céu aberto.

13.5.3.2. O EFEITO ESTUFA

Denomina-se "**efeito estufa**" o fenômeno que conduz ao aumento progressivo da temperatura média global do planeta. Tal efeito resulta do aumento da concentração de gases como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (NO), clorofluorcarbono (CFC) e ozônio (O₃). Denominados gases de estufa, são transparentes às radiações de curto comprimento de onda provenientes do sol, mas absorvem e emitem radiações de ondas longas refletidas pela superfície terrestre, funcionando de forma semelhante às estufas, cuja cobertura de vidro é transparente à luz solar, mas bloqueia a dissipação do calor ali formado.

Dentre os gases de estufa, o CO₂ apresenta-se como o mais significativo. Estima-se que o homem despeja anualmente 5,5 bilhões de toneladas desse gás na atmosfera. Calcula-se que, até o ano 2075, o valor será duas vezes maior, o que elevará a temperatura média do planeta em mais de 5,5 °C. As projeções indicam que mesmo adotando medidas drásticas para controlar o uso de combustíveis fósseis, ainda assim o planeta sofreria um aquecimento significativo de até 4 °C no próximo século.

Além de provocar modificações climáticas cuja intensidade permanece de difícil previsão, o aquecimento desencadearia alterações no nível dos mares, na agricultura e silvicultura. Temperaturas mais elevadas alteram o ciclo hidrológico de várias maneiras: fazem aumentar o vapor de água atmosférico e alteram os padrões de precipitação pluviométrica, assim como o carreamento de águas para os mares a partir de rios e geleiras. Provocam também expansão térmica das águas oceânicas e o degelo de geleiras e calotas polares. Todos esses efeitos por sua vez podem causar elevação do nível dos mares, acarretando erosões litorâneas, inundações e danificação de portos e estruturas costeiras, destruição de charcos e elevação de lençóis subterrâneos de águas.

Tanto o aumento de CO₂, como a elevação da temperatura, podem afetar de forma significativa o crescimento e a distribuição das espécies vegetais. As alterações climáticas conseqüentes podem ainda gerar mudanças nos padrões globais de muitos processos ecológicos. A ocorrência de pragas de insetos, a multiplicação de organismos patogênicos e a frequência das queimadas naturais sofrem influência do clima. Finalmente, o próprio homem, principalmente o habitante das regi-

ões mais quentes do globo, será diretamente afetado pela ocorrência de temperaturas mais elevadas.

13.5.3.3. DESTRUIÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO

O ozônio é uma das formas naturais de associação dos átomos de oxigênio. Sua alta reatividade o transforma em um elemento tóxico capaz de desestabilizar proteínas, destruir microrganismos e prejudicar o crescimento das plantas. Mas, no estado puro e livre na estratosfera, esse gás participa de interações essenciais à defesa da vida no planeta.

O que se convencionou chamar de "**camada de ozônio**" é uma faixa de 30 mil metros de espessura, a partir de 15 mil metros acima da superfície terrestre, de um gás tão rarefeito que, se fosse comprimido à pressão e temperatura da superfície da Terra, formaria uma casquinha de apenas 3 milímetros. O ozônio aí presente, é capaz de interagir com grande número de substâncias químicas, dentre elas o clorofluorcarbono (CFC), também conhecido como **freon**, utilizado como spray em inseticidas, produtos de limpeza e tintas, circuitos de refrigeração de geladeiras e aparelhos de ar condicionado, plásticos porosos utilizados em embalagens, além de servir como solvente na indústria eletrônica.

Apesar de sua larga utilização e embora inofensivo na terra, o CFC constitui um "veneno" na atmosfera. Suas moléculas passam intactas pela troposfera, para desembocar na estratosfera. Ali, os raios ultravioleta do sol decompõem as moléculas de CFC, liberando átomos de cloro. Este reage rapidamente com o ozônio, produzindo monóxido de cloro (ClO) e oxigênio molecular (O₂). A cadeia de reações químicas continua quando o ClO combina-se com o O₂ e deixa novamente livre o cloro para reagir com outra molécula de ozônio. Estima-se que, por causa desse efeito cascata, cada átomo de cloro liberado destrói 100 mil moléculas de ozônio da atmosfera. Um detalhe importante é que o CFC tem uma vida útil de pelo menos 75 anos. Portanto, já houve descarga suficiente do gás na atmosfera para destruir moléculas de ozônio por quase um século. Cálculos preliminares indicam que a camada de ozônio deverá sofrer, nos próximos cem anos, uma perda entre 7 e 13% da massa total.

A diminuição da quantidade de ozônio estratosférico resulta na abertura de buracos naquela camada, levando a uma maior incidência de radiações ultravioleta do sol na superfície da Terra. Tal fato pode ter como consequência um aumento da temperatura média global do planeta, o que contribuirá para agravar o efeito estufa. Uma maior incidência de radiação ultravioleta, também traz, como consequência, aumento no número de câncer de pele: segundo a Academia de Ciências dos Estados Unidos, a diminuição de 1% da camada de ozônio, pode causar 10 mil novos casos de câncer de pele nos americanos. Além do câncer de pele, pode ainda causar queimaduras de córnea, catarata, alterações no aparelho reprodutor atingindo o feto, a tireóide, causando mutações e diminuição da vida e até a esterilidade.

A situação mais preocupante é na Antártida, onde já foi constatado que, em determinada época do ano, a redução da camada de ozônio é da ordem de 50%, formando-se um verdadeiro buraco sobre aquela região. Tal ocorrência parece estar atrasando a chegada da primavera. Supõe-se que invernos mais longos tendam a comprometer o ciclo biológico dos espécimes animais e vegetais da região. Também sobre o Ártico foi constatada redução de 20% na camada de ozônio. Neste a situação é menos preocupante, uma vez que os baixos valores duram apenas algumas semanas e não meses como na Antártida.

Por ser uma questão que envolve as condições de vida no planeta, no mundo inteiro têm sido assinados acordos para banir os CFC's. Dentre estes acordos, destacam-se o Protocolo de Montreal (ratificado por 155 países), a Convenção de Viena (156 países), a Emenda de Londres (106 países) e a Emenda de Copenhague (57 países)⁹.

13.6. MELHORANDO A QUALIDADE DO AR

Uma limpeza completa do ar atmosférico seria impossível, mas um procedimento aconselhável seria reduzir as concentrações dos poluentes a valores não mais nocivos aos seres vivos, à propriedade e ao próprio homem.

Como acontece em qualquer tarefa de melhorar a qualidade do ambiente, o primeiro passo seria investigar o problema, para em seguida determinar as medidas de controle. Na investigação do problema, dois conjuntos de informações são indispensáveis:

- ◆ levantamento geral das fontes poluidoras e seus poluentes;
- ◆ identificação dos padrões de qualidade do ar a serem atingidos.

13.6.1. LEVANTAMENTO GERAL

O levantamento das fontes poluidoras pode ser feito através de estudos de relatórios antigos de poluição do ar, complementados com as informações coletadas junto à comunidade, no departamento de trânsito da cidade, nas indústrias, etc. Uma vez identificadas as fontes, preparam-se mapas que indiquem as fontes, seus principais poluentes e prováveis níveis durante períodos determinados de tempo, supondo condições estáveis de clima.

O passo seguinte seria o estabelecimento de um "**plano de amostragem**". Como o objetivo usual do controle da poluição do ar é proteger a vida e a propriedade contra as exposições, e não apenas das emissões, as estimativas das exposições representam um passo importante na definição do problema. Para uma estimativa correta das exposições, o plano de amostragem deve responder a três perguntas críticas:

- ◆ **o que?** O poluente a ser medido determina o meio a ser usado para coletá-lo;
- ◆ **onde?** Como a amostragem do ar ocorre num ponto ou uma série de pontos, deve-se levar em consideração a localização da amostragem. Teoricamente, a medição deve ser feita nos pontos de exposição crítica;
- ◆ **quando?** A amostragem também ocorre numa dimensão temporal, por isso, seria necessário identificar os momentos de mais baixa e mais alta concentração de poluentes no ar.

Uma vez identificado o tipo de poluente, onde e quando coletá-lo, pode-se escolher o dispositivo de amostragem a ser utilizado. Existem dois tipos de amostradores:

- ◆ **classificadores de partículas** - que podem ser enquadrados em seis categorias: (1) dispositivos de igualação de cores; (2) dispositivos de deposição; (3) dispositivos com obstáculos; (4) dispositivos de filtragem; (5) dispositivos centrifugos; e, (6) dispositivos com interrupção do feixe de luz.

⁹ Dados de março de 1996 - Boletim OzonAction, INEP, nº 18.

- ◆ **classificadores de gás** - que podem ser divididos em três grupos: (1) dispositivos de absorção; (2) dispositivos de adsorção; e, (3) medidas físicas diretas.

Para uma interpretação correta da amostragem torna-se indispensável registrar as condições meteorológicas quando as amostras foram tomadas, para que os níveis previstos nas condições mais adversas possam ser avaliados. A hora de amostragem também deve ser anotada, para que se possam estabelecer correlações entre os padrões de emissão e os movimentos da população. Por último, a localização vertical e horizontal da amostragem, que fornece uma informação vital para que se possam fazer extrapolações para outras localidades e a amostragem possa ser repetida no futuro.

13.6.2. PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Os poluentes lançados no ar atmosférico (emissões), espalham-se (transmissões) e podem acabar agindo sobre a propriedade, o homem e demais seres vivos (imissões). Entre a emissão e a imissão, o poluente pode passar por transformações e a concentração ativa do mesmo no local da imissão, pode não ser tão elevada como no local da emissão. A concentração de imissão deve ser tanto menor quanto mais afastada estiver do local da fonte poluidora e quanto maiores forem as possibilidades de autodepuração do ar. Em vista disto, foram definidos os conceitos de "**concentração máxima de emissão - CME**" e "**concentração máxima de imissão - CMI**". A CME representa a quantidade máxima de um poluente que pode ser lançada para a atmosfera por uma fonte poluidora. A CMI define a concentração máxima permitida para um dado poluente no ar, de modo a não causar prejuízos à saúde do homem, animais e vegetais.

Com a finalidade de realizar o controle da poluição atmosférica de forma definida e compatível com os interesses nacionais, e em face da necessidade de haver uma coordenação nas medidas de controle em todo o país, o Governo Federal instituiu o PRONAR - Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar (Resoluções CONAMA n^{os} 005/89, 003/90 e 008/90) e o PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Resoluções CONAMA n^{os} 018/86 e 006/93), fixando padrões de qualidade do ar, com base nas CME's e CMI's, para todo o território nacional.

13.7. MEDIDAS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR

As medidas de controle da poluição do ar podem ser agrupadas em três categorias a saber:

- ◆ planejamento territorial e zoneamento;
- ◆ redução ou eliminação das emissões;
- ◆ controle das emissões.

Qualquer que seja a medida a ser adotada, ela deve ser selecionada somente depois de um exame completo dos benefícios e custos de todas as ações possíveis. Por outro lado, é importante que haja uma preocupação constante do Governo e das empresas particulares sobre o problema. Medidas preventivas devem ser adotadas em áreas onde a poluição não existe e providências corretivas devem ser implantadas em locais onde a poluição do ar já ocorre.

13.7.1. PLANEJAMENTO TERRITORIAL E ZONEAMENTO

O planejamento territorial, com zoneamento cuidadoso na instalação de zonas industriais e vias de transporte de uso intensivo, são pontos importantes para a redução da poluição atmosférica. Para tal, dentre outras providências, o planejamento deve levar em conta:

- ◆ o estabelecimento de áreas de proteção sanitária;
- ◆ a direção dos ventos dominantes;
- ◆ a localização seletiva de indústrias de acordo com o seu potencial poluidor;
- ◆ a rapidez do tráfego;
- ◆ a proteção de zonas de cultivo (principalmente hortaliças e forragens);
- ◆ a conservação de áreas verdes de lazer próximas dos centros urbanos.

As plantas têm um papel importante na redução da poluição do ar. A vegetação localizada nas vizinhanças das cidades e estabelecimentos industriais, pode contribuir para purificar o ar, tanto pela eliminação da propagação de poeiras, como pela assimilação de poluentes tóxicos. Para que a vegetação protetora contribua para a despoluição do ar, é necessário que esteja bem dimensionada, com espaçamento adequado que permita a passagem do vento (Figura 13.5). Plantações de 10 a 30 metros de largura, com espaçamento entre as árvores maiores do que os observados em florestas, intercaladas com rica vegetação de arbustos, funcionam como verdadeiros filtros: reduzem a velocidade dos ventos, as partículas mais pesadas sedimentam, as mais finas são retidas pelas folhas e gases como CO_2 e SO_2 podem ser absorvidos pela vegetação. Obviamente, a vegetação protetora deve ser resistente às emissões tóxicas observadas no local.

Porém, por mais desejável que seja lançar mão de vegetação protetora para melhoria da qualidade do ar, não se deve esquecer de atacar o mal pela raiz, reduzindo ou eliminando o lançamento de poluentes para a atmosfera, ou mesmo, purificando as emissões das diversas fontes.

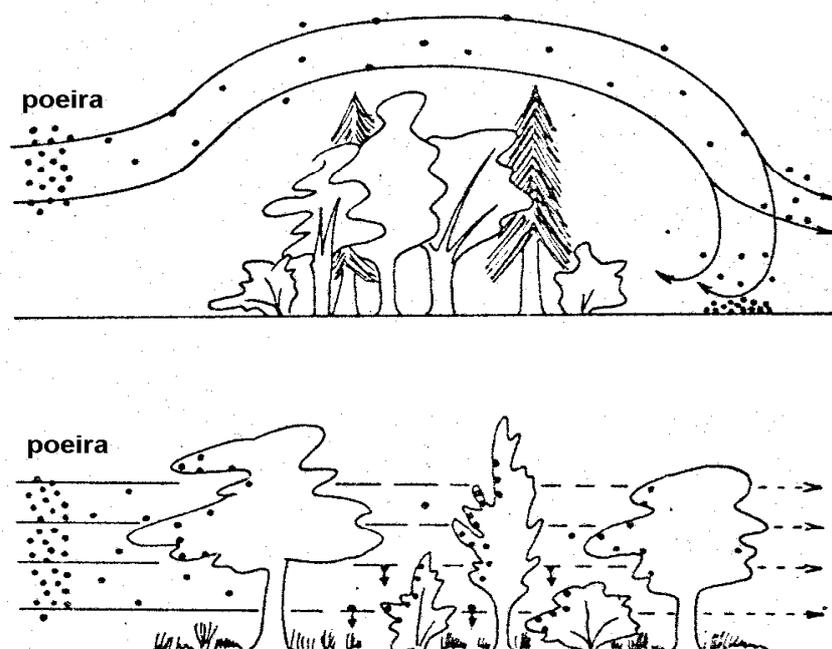


Figura 13.5: Vegetação protetora densa (superior) e esparsa (inferior) filtrando o ar. (FELLENBERG, F., 1980)

13.7.2. REDUÇÃO OU ELIMINAÇÃO DAS EMISSÕES

A redução ou eliminação das emissões poluidoras pode ser conseguida através de:

- ◆ utilização de matérias primas e combustíveis com baixo potencial poluidor como o álcool, combustíveis com baixo teor de enxofre, gás combustível;
- ◆ uso de energia elétrica para o transporte urbano;
- ◆ adequados projetos de equipamentos básicos;
- ◆ operação e manutenção adequada de equipamentos e processos;
- ◆ controle meteorológico, com paradas ou redução das atividades poluidoras durante os períodos de condições meteorológicas desfavoráveis ao transporte e difusão de poluentes.

13.7.3. CONTROLE DAS EMISSÕES

Dentre as principais medidas recomendadas para controle das emissões estão:

- ◆ a diluição de poluentes mediante o uso de chaminés altas;
- ◆ a destruição ou coleta dos poluentes através de equipamentos adequados.

Os equipamentos utilizados na operação de coleta e eliminação de partículas são classificados de acordo com o princípio físico segundo o qual o objetivo é alcançado. Assim, a separação das partículas da corrente de ar pode ser obtida por:

- ◆ ação de filtração através de meio poroso;
- ◆ ação de forças de inércia: coletores inerciais;
- ◆ ação da gravidade: coletores gravitacionais;
- ◆ ação de forças centrífugas: ciclones;
- ◆ ação de umedecimento ou lavagem pela água;
- ◆ ionização e atração eletrostática: precipitadores eletrostáticos.

Quando o poluente forma uma solução gasosa no ar é necessário recorrer a fenômenos ou operações físicas para conseguir a separação e coleta do gás poluente, o que pode ser obtido por:

- ◆ absorção por um líquido no qual o gás é solúvel: torres de enchimento, torres de borriço, etc.;
- ◆ adsorção por ação de forças de atração molecular superficiais: carvão ativado, sílica-gel, etc.;
- ◆ incineradores de resíduos gasosos, desde que os gases resultantes não sejam, por sua vez, também poluidores: queimadores de chama direta, pós-queimadores catalíticos, etc;
- ◆ condensadores de vapores, graças ao resfriamento dos mesmos: lavador venturi, lavador jet, etc.

Cada um dos equipamentos citados acima tem uma série de vantagens e desvantagens, podendo seu uso ser adequado ou inadequado para uma situação em particular, dependendo de um estudo prévio.

13.8. EXERCÍCIO DE FIXAÇÃO 13

1. Conceitue poluição do ar.
2. Cite as principais fontes de poluição do ar.
3. Comente sobre os principais poluentes atmosféricos.
4. De que forma as condições meteorológicas afetam a poluição do ar ?
5. De que forma as condições topográficas influenciam a poluição do ar?
6. Explique o processo de autodepuração da atmosfera.
7. Comente sobre chuva ácida e efeito estufa.
8. Esboce a pesquisa inicial que você faria antes de formular um programa de controle da poluição do ar na sua cidade.
9. Cite algumas medidas de controle da poluição do ar.
10. Enumere alguns equipamentos que podem ser utilizados no controle das emissões.
11. Se lhe fossem dados poderes supremos para reduzir a poluição atmosférica em nossa sociedade, que medidas você adotaria ?

14. POLUIÇÃO SONORA

O silêncio é uma qualidade do ambiente que pouco se dá atenção, mas que, quando perdida, causa distúrbios principalmente na saúde. O conceito de silêncio no cotidiano deve ser entendido como a ausência de sons indesejáveis, que limitam a concentração para as atividades diárias e a qualidade de vida. É neste sentido que surge o conceito de **poluição sonora** como sendo “**qualquer alteração nas características do som ambiente provocada por ruídos**”. O ruído é então aquele som indesejável que perturba o sossego, a segurança e a saúde da população.

Cabe ressaltar que a noção de ruído é muito relativa: uma música agradável para alguns, pode ser insuportável para outros; um som agradável em determinadas circunstâncias - uma festa, por exemplo -, pode ser insuportável em outras - quando se quer estudar. A intensidade conta, mas também a frequência e o seu caráter inesperado. O incômodo também depende da hora - dia ou noite -, da sensibilidade da pessoa, do ruído de fundo. Finalmente, vale ressaltar que, de um modo geral, somos mais tolerantes aos nossos ruídos do que aos que outras pessoas fazem. Neste contexto, o estudo da poluição sonora mostra que, mais que qualquer outra forma de poluição, ela é bastante relativa. Assim sendo, deparamo-nos com questões básicas: “Como identificar e diagnosticar a poluição sonora?” “Quais as conseqüências da mesma?” “Como medir e regular o ruído?”

14.1. FONTES DE RUÍDO

Distinguem-se dois grupos de fontes de ruído: os automóveis e a vizinhança. No primeiro grupo estão os transportes rodoviários, ferroviários e aéreos. Neste, destacam-se os transportes rodoviários de pessoas e mercadorias, como uma das maiores fontes de poluição sonora nos centros urbanos. O ruído dos veículos provem basicamente: da entrada de ar e escape, do motor, do sistema de ventilação, do contato entre os pneus e o pavimento e da operação (velocidade/aceleração, fluxo de tráfego, buzinas, equipamentos de som).

No segundo grupo - ruídos da vizinhança - estão os ruídos das indústrias, dos bares, das discotecas, dos restaurantes, dos canteiros de obras e os ruídos domésticos (cães, aparelhos eletrodomésticos, elevadores, etc.).

14.2. CARACTERÍSTICAS DO SOM

14.2.1. INTENSIDADE E FREQUÊNCIA

O som é definido como um fenômeno físico, provocado pela propagação de vibrações mecânicas em meio elástico - o ar -, passível de excitar o aparelho auditivo. A rápida vibração da pressão do ar em contato com o ouvido, produz a sensação auditiva.

Para descrever o som, são utilizadas duas de suas características físicas: intensidade e frequência. A intensidade é causada pela pressão contra o ouvido ou outro instrumento de medição: quanto maior a pressão mais intenso é o som. A altura é determinada pela frequência das vibrações - número de vezes, durante um determinado período de tempo, que o objeto vibrante dá impulsos ao ar: quanto mais freqüente a vibração, mais alto - mais agudo - é o som. Portanto as medições do som devem coletar informações sobre a intensidade (pressão) ou sobre a altura (frequência) ou sobre ambas. A pressão do som percebida pelo ouvido humano pode ser tão baixa quanto $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ - limite inferior de audibilidade -, e tão alta quanto 100 N/m^2 - limite superior, antes que a capacidade auditiva seja destruída.

14.2.2. NÍVEL DE PRESSÃO DO SOM OU NÍVEL DE RUÍDO

A unidade padrão para se medir o som é o decibel (dB), definido de modo a ser fiel ao funcionamento do ouvido humano: mais sensível à pressões menores (sons suaves) e menos sensível a pressões mais altas (sons fortes), fato representado matematicamente por uma função logarítmica. A equação para traduzir os níveis de pressão do som (NPS) em decibéis é:

$$\text{NPS} = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

- . P = pressão sonora medida por instrumento;
- . P_0 = pressão de referência (menor pressão audível);
- . NPS = nível de pressão sonora, em dB.

Com base na expressão acima, o limite inferior de audibilidade é zero dB e o limite da dor é 134 dB. Sons inferiores a 25 dB são praticamente impossíveis de se obter, a não ser em condições acústicas especiais. No meio urbano, os sons registrados variam geralmente entre 30 e 100 dB.

Os ruídos são originados por sons de várias frequências. Como as altas frequências são mais incômodas ao ouvido humano, torna-se necessário ajustar o decibel a esta sensibilidade do aparelho auditivo. Para ajustar o decibel à altura, definiu-se a unidade dB-A, que ajusta a variação do nível de pressão do som de acordo com a frequência. A maioria das leis sobre ruído expressa seus padrões em dB-A. Além da ponderação A, existem também B e C - hoje pouco usadas - e a ponderação D - mais utilizada para ruídos de aeronaves. No quadro 14.1 são apresentados níveis de ruído para algumas atividades e as sensações correspondentes provocadas.

A aritmética dos dB é estranha. É necessário muito barulho para aumentar alguns decibéis. Os níveis de pressão do som (NPS) não podem ser somados, pois são representados por função logarítmica. Porém, a escala de intensidade física é linear e, portanto, pode ser somada. Como resultado tem-se que a combinação de dois níveis de ruído idênticos dão origem a um acréscimo de 3 dB (acrécimo = $10 \log 2$), isto é, se uma máquina sozinha produz 90 dB, duas máquinas idênticas produzem 93 dB. Para se ter um acréscimo de 10 dB, seriam necessárias 10 máquinas iguais (acrécimo = $10 \log 10$).

Quadro 14.1: Níveis típicos de ruído

Tipo de fonte	NPS (dB-A)	Sensação
• Relógio / Sussurros / Chuvisco	30	muito baixo
• Trabalho doméstico / Rua residencial calma	40	razoavelmente baixo
• Conversa	50	normal
• Ruído de escritório	60	normal
• Conversa ruidosa / Gritos / Aspirador de pó	70	alto
• Ruído de tráfego pesado	80	alto
• Fábrica barulhenta / Moto a 10 m	90	muito alto
• Buzina de veículo a 7 m	100	muito alto a insuportável
• Caldeiraria / Indústria têxtil	110	muito alto a insuportável
• Trovoada	120	muito alto a insuportável
• Avião na aterrissagem	150	insuportável
• Motor de foguete	180	insuportável

Fonte: COPPE/UEB (1990).

Tabela 14.1: Fontes de ruídos diferentes.

Diferença entre os sons (dB)	Valor a ser somado (dB)
0	3,0
1	2,6
2	2,1
3	1,8
4	1,5
5	1,2
6	1,0
7	0,8
8	0,6
9	0,5
10	0,4
12	0,3
14	0,2
16	0,1

Se as duas fontes não forem idênticas, a combinação dos níveis de som será feita através de um acréscimo ao nível mais elevado. Este acréscimo diminui à medida que a diferença entre os NPS aumenta, sendo que, para diferenças acima de 16 dB, o acréscimo é nulo, pois o som mais intenso mascara o menos intenso. Para determinar os referidos acréscimos, utiliza-se a tabela 14.1. Para combinar-se mais de dois níveis, considera-se dois a dois, iniciando-se pelos mais elevados.

Exemplo: Determinar o NPS ou nível de ruído resultante da combinação das quatro fontes seguintes: $NPS_1 = 92\text{dB}$, $NPS_2 = 81\text{dB}$, $NPS_3 = 95\text{dB}$ e $NPS_4 = 90\text{dB}$.

Inicia-se com NPS_1 e $NPS_3 \Rightarrow NPS_3 - NPS_1 = 95 - 92 = 3\text{ dB} \Rightarrow 1,8\text{ dB}$ deve ser somado ao maior valor (Tabela 14.1) $\Rightarrow NPS' = 95 + 1,8 = 96,8\text{ dB}$.

Para NPS' e $NPS_4 \Rightarrow NPS' - NPS_4 = 96,8 - 90 = 6,8\text{ dB} \Rightarrow 0,9\text{ dB}$ deve ser somado ao maior valor (Tabela) $\Rightarrow NPS'' = 96,8 + 0,9 = 97,7\text{ dB}$.

Para NPS'' e $NPS_2 \Rightarrow NPS'' - NPS_2 = 97,7 - 81 = 16,7\text{ dB} \Rightarrow$ Diferença maior que 16 dB, o ruído da fonte 2 é totalmente mascarado pela combinação das outras fontes.

14.3. ÍNDICES DE RUÍDOS

Para se fazer avaliação do ruído, deve-se levar em conta dois fatores importantes. Primeiro, que o ruído varia continuamente. Segundo, que o incômodo provocado pelo ruído depende da distância que separa o ouvinte da fonte e é função, também, do nível de ruído de fundo ou ruído ambiente.

Uma única medida não pode descrever um ruído variável. Logo devem ser usadas medidas que descrevam melhor os níveis de pico, os ruídos baixos e os ruídos médios. Neste sentido, vários índices foram desenvolvidos para medição do ruído em dB-A, dentre os quais pode-se distinguir os índices L_{10} , L_{50} , L_{90} e Leq .

14.3.1. ÍNDICES L_{10} , L_{50} e L_{90}

O índice L_{10} define o nível de ruído ultrapassado por 10% das medidas isoladas - correspondendo a 10% do tempo de medição. O L_{90} é o nível abaixo do qual se situa apenas 10% das leituras - nível que é ultrapassado em 90% do tempo. O índice L_{50} é, obviamente, o nível mediano, ou seja, a média das medidas isoladas.

Dentre esses índices, o L_{10} é o que fornece a melhor comparação e avaliação das condições de ruído de fontes de som variando continuamente, como aquele que provém do tráfego, além de ser uma indicação mais precisa do incômodo causado.

14.3.2. NÍVEL SONORO EQUIVALENTE (Leq)

Quando ruído varia com o tempo, é recomendável a análise estatística dos níveis medidos através do nível sonoro equivalente - Leq . O índice Leq é definido como a média de energia de uma amostra de ruído e é calculado através da expressão:

$$Leq = L_{50} + \frac{L_{10} - L_{90}}{56}$$

O Leq tem apresentado uma boa correlação com os distúrbios causados ao homem pelo ruído, e está cada vez mais sendo utilizado devido à facilidade de obtenção, uma vez que muitos dos equipamentos de medição fornecem diretamente os valores do Leq .

14.4. MEDIÇÃO DO RUÍDO

A avaliação do ruído é feita com base na NBR 10151 e 10152 da ABNT¹⁰. O instrumento básico é o Medidor de Nível de Som - MNS, que mede a pressão do som em escalas com ou sem ponderação. Dentre os MNS, destacam-se os portáteis (Decibelímetro) que fornecem medidas numa faixa de 20 a 140 dB, com ponderação A (a maioria dos MNS expressam resultados em dB-A).

¹⁰ ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A medição pode ser feita através de métodos manuais, mecânicos ou automatizados. Em qualquer dos métodos, leituras instantâneas são efetuadas pelos MNS, em espaço de tempo previamente definido, registrando o nível de som em dB-A. De posse desses registros, parte-se para a determinação e análise dos índices (alguns instrumentos já oferecem os índices diretamente).

Consideram-se prejudiciais à saúde, à segurança e ao sossego público os sons e ruídos que:

- ◆ atinjam, no ambiente exterior do recinto em que têm origem, nível de som de mais de dez decibéis, acima do ruído de fundo existente;
- ◆ independentemente do ruído de fundo, atinjam no ambiente exterior do recinto em que têm origem, mais de setenta decibéis;
- ◆ alcancem, no interior do recinto em que são produzidos, níveis de som superiores aos considerados aceitáveis pelas normas da ABNT.

No estudo da poluição sonora, a duração do ruído é avaliada sobre um período de tempo relevante, diferenciando-se o “período diurno” do “período noturno”, em termos do padrão de ruído aceitável. Os limites de horário para o período diurno e noturno, são definidos pelas autoridades, com base nos hábitos da população. O Decreto Estadual/Pb nº 15.357/83, estabelece três períodos: diurno, entre 7 e 19 horas, vespertino, entre 19 e 22 horas, e noturno, das 22 às 7 horas.

Para efeito de controle da poluição sonora, a área municipal é dividida em três zonas: residencial - ZR, industrial - ZI e diversificada - ZD. Os padrões de ruído são definidos considerando tanto o período como o tipo de área. Estes constam da NBR 10.152 e do Dec. Estadual 15.357/83.

14.4.1. RUÍDO DIRETO E REFLETIDO

Durante as medições, muitas vezes é necessário determinar se o ruído é direto ou refletido. Para se determinar se a influência do som refletido é significativa, efetuam-se duas medidas, uma perto e outra longe do local (15 a 20 metros). Quando a diferença for cerca de 8 dB, predomina o som direto. Se a diferença entre as duas leituras for pequena, o som refletido é apreciável. Somente neste último caso, justificam-se medidas para diminuir a reflexão do som.

14.4.2. RUÍDO DE FUNDO

Para determinar a influência do ruído de fundo ou ambiente, devem ser feitas duas medições, uma com a fonte em estudo funcionando, e outra com a fonte desligada. Se, ao desligar a fonte, o ruído permanecer praticamente o mesmo, o ruído proveniente da mesma estará mascarado pelo ruído de fundo. Uma redução de até 2 dB, indica que o ruído de fundo é tão intenso que, relativamente, o ruído da fonte não é apreciável. Neste caso, o controle isolado da fonte não resolveria o problema, deveriam ser controladas as fontes responsáveis pelo ruído de fundo.

Se a diferença entre as duas leituras estiver entre 2 e 10 dB, deve-se utilizar a tabela 14.2, para definir o nível de ruído resultante apenas da fonte.

Tabela 14.2: Determinação da influência do ruído de fundo.

Diferença entre sons (dB)	Valor a ser subtraído (dB)
2	4,3
3	3,0
4	2,2
5	1,5
6	1,3
7	1,0
8	0,8
9	0,6
10	0,4

Exemplo: Em um determinado local, com a máquina funcionando, o nível de ruído medido foi 95 dB e com a máquina desligada, 90 dB. Qual o nível de ruído atribuído à máquina?

$NPS_1 - NPS_2 = 95 - 90 = 5\text{dB} \Rightarrow 1,5\text{ dB}$ devem ser subtraídos do NPS_1 (Tabela 14.2) $\Rightarrow NPS_{\text{máq.}} = 95\text{dB} - 1,5\text{dB} = 93,5\text{dB}$

14.5. EFEITOS DO RUÍDO

As conseqüências do ruído variam desde perturbações na audição a efeitos fisiológicos e psicológicos. No que diz respeito à audição, observa-se: ‘fadiga auditiva’ que se manifesta como um déficit provisório da audição, a partir da exposição a ruídos de 75 a 80 dB; ‘efeito máscara’ manifesta-se inicialmente como perda da capacidade de audição de conversas, contribuindo para o ‘isolamento’ da pessoa; ‘surdez’ ou seja perda definitiva da audição, que pode ocorrer em caso de ruído brutal (explosão) ou ruído intenso prolongado (mais de 85 dB durante oito horas, por vários anos, ou de lazer ruidoso - walkmam no máximo volume, motocross, concertos de rock...).

O ruído é com certeza um agente de stress. A tensão contínua provocada pelo ruído tem efeitos sobre o sistema imunológico do organismo, diminuindo a resistência às doenças. Os sistemas cardiovascular e digestivo são os que mais apresentam reações negativas. O ruído perturba o desenvolvimento da linguagem e a aquisição de leitura entre as crianças. Finalmente, perturba o sono, reduz o descanso do organismo e, em conseqüência, a atenção para as atividades do cotidiano fica prejudicada.

14.6. MEDIDAS DE CONTROLE

As medidas de controle do ruído podem ser aplicadas na fonte, na trajetória do som ou no pessoal. O controle da fonte de ruído, que deve ter sempre a preferência, pode ser feito através de diminuição de tecnologias perturbadoras (rebitagem pneumática por solda) - raro, ou, simplesmente, através de boa lubrificação, ajuste e regulagem nos equipamentos, e uso de materiais amortecedores. O controle da trajetória do ruído pode ser feito através de segregação, enclausuramento, barreiras e tratamento acústico das superfícies.

A segregação é obtida através do afastamento da fonte poluidora ou operação de fonte em horários pré-determinados. O enclausuramento é o isolamento da fonte por meio de materiais isolantes e absorventes (Figura 14.1). A barreira controla a propagação do ruído numa determinada direção, através do uso de materiais isolantes e absorventes, este do lado em que se localiza a

fonte (Figura 14.2). O tratamento acústico de superfícies visa evitar ou diminuir a reverberação do ruído no ambiente, através do recobrimento de superfícies lisas e duras com chapas de materiais absorventes do som (eucatex acústico, madeira maciça, gesso, borracha, carpete, cortinas, etc.)

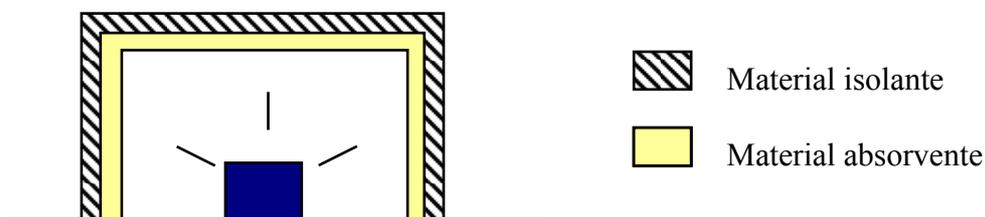


Figura 14.1: Enclausuramento do ruído.

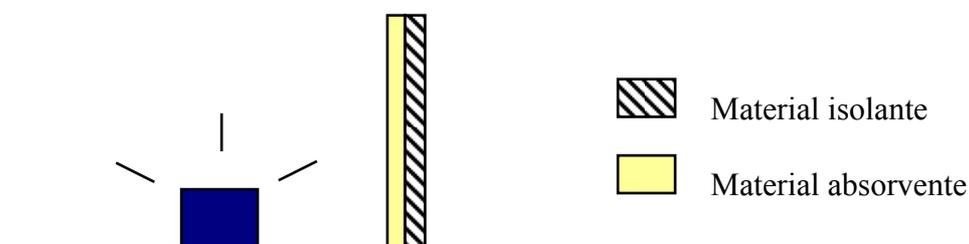


Figura 14.2: Barreira contra ruído.

O controle do pessoal é feito por meio de exames médicos (na admissão e periodicamente), da limitação do tempo de exposição ao ruído e do uso de equipamentos de proteção individual (EPI). O uso de EPI, hoje muito difundido em várias atividades ruidosas, é aplicado quando o controle do ambiente não for possível técnica e/ou economicamente. A proteção individual é feita por meio do uso de tampões, conchas, capacetes e, principalmente, da educação. Campanhas educativas que motivem os trabalhadores para o uso de EPI e a comunidade em geral para adoção de práticas menos ruidosas e respeito à legislação, devem ser programadas.

14.7. EXERCÍCIO DE FIXAÇÃO 14

1. Conceitue poluição sonora.
2. Enumere as fontes de poluição que estão mais presentes no seu dia-a-dia.
3. Diferencie intensidade e frequência do som.
4. Determine o nível de ruído resultante da combinação das seguintes fontes: um escritório, numa rua barulhenta, num dia de trovoadas.
5. Quando se deve aplicar o índice L_{eq} ?
6. Como determinar se o ruído é direto ou refletido?
7. Como determinar a influência do ruído de fundo?
8. Quais as principais consequências da poluição sonora?
9. Enumere as medidas de controle do ruído.