

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS



Departamento de Química – ICEX
Curso de Licenciatura em Química
Modalidade: Educação a Distância

Química Ambiental

Clésia Cristina Nascentes
Leticia Malta Costa

– 2011 –

Sumário

	Página
Prefácio	03
Aula 1: Recursos Hídricos	04
Aula 2: Contaminação de Recursos Hídricos	18
Aula 3: Tratamento de Águas e Efluentes Domésticos	31
Aula 4: Litosfera	47
Aula 5: Contaminantes em Solos	59
Aula 6: Resíduos Sólidos	77
Aula 7: Química da atmosfera	91
Aula 8: Poluição do Ar	110
Aula 9: Energia	125
Aula 10: Legislação Ambiental	141

PREFÁCIO

O objetivo deste livro é apresentar ao aluno os temas mais relevantes na área de Química Ambiental. Essa interessante área trata de temas atuais e relacionados ao cotidiano de todos nós.

O livro está dividido em 10 unidades (10 aulas). As três primeiras unidades abordam assuntos relacionados à hidrosfera, como sua composição, problemas relacionados à contaminação dos recursos hídricos e processos para tratamento de águas e efluentes. As unidades 4 e 5 tratam de assuntos relacionados à litosfera, apresentando a sua composição, suas principais características, tipos de solo existentes no Brasil e os problemas relacionados à contaminação dos solos. A unidade 6 aborda o tema resíduos sólidos e são apresentados: i) a classificação destes resíduos, ii) os problemas relacionados à disposição inadequada dos mesmos no meio ambiente e iii) algumas formas de tratamento e disposição adequada. Nas unidades 7 e 8 são apresentados aos alunos aspectos relacionados à atmosfera, como a sua composição, os ciclos biogeoquímicos do carbono, nitrogênio e enxofre, os principais contaminantes encontrados na atmosfera e os problemas que eles causam, com ênfase na chuva ácida e no efeito estufa e aquecimento global. A unidade 9 trata de um tema que preocupa a muitos de nós, que é a questão energética. São apresentadas nesta unidade as principais fontes de energia renováveis e não renováveis, vantagens e desvantagens de cada uma delas e os impactos ambientais relacionados ao uso destas fontes de energia. Por fim, na unidade 10 são abordados alguns aspectos relacionados à legislação ambiental, o que permite ao aluno conhecer um pouco sobre a estrutura que regulamenta a questão ambiental no Brasil bem como as principais leis ambientais em vigor.

Em todas as unidades são propostas atividades que pretendem facilitar o aprendizado do aluno e, sempre que possível, pede-se que o aluno faça uma avaliação ou busque relacionar os temas abordados com a realidade existente em sua comunidade.

Esperamos que os alunos possam aproveitar ao máximo esse livro e que se interessem pelos temas aqui discutidos.

AULA 1

RECURSOS HÍDRICOS

Meta

Conhecer as características, a classificação e a distribuição dos recursos hídricos no Brasil e no mundo.

Objetivos

Com as informações adquiridas ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Conhecer as características de águas doces, salgadas e salobras;
- Ter uma noção de como a água está distribuída no Brasil e no mundo;
- Conhecer as principais fontes de água para consumo;
- Entender a importância da preservação dos recursos hídricos.

Introdução

A vida surgiu no planeta há mais ou menos 3,5 bilhões de anos. Desde então, a biosfera modifica o ambiente para uma melhor adaptação. Em função das condições de temperatura e pressão que passaram a ocorrer na Terra, houve um acúmulo de água em sua superfície, nos estados líquido, sólido e gasoso, formando-se assim o ciclo hidrológico, que discutiremos na próxima aula.

Os continentes representam a litosfera; a água existente na Terra forma a hidrosfera; cada um dos pólos (Ártico e Antártico) e os cumes das montanhas mais altas apresentam um cobertura de gelo e neve denominada criosfera; a massa de ar que cobre a Terra é chamada de atmosfera, e a vida existente no planeta forma a biosfera.

A água é um dos constituintes mais importantes do Planeta Terra. Podemos até dizer que vivemos no mundo das águas, já que apenas 29,3% da superfície de nossa planeta é terra e o restante (70,7 %) é recoberto por água. Ingrediente essencial à vida, a água é talvez o recurso mais precioso que a humanidade dispõe. Todos os seres vivos

dependem incondicionalmente de um suprimento de água. As reações bioquímicas de cada célula viva ocorrem em solução aquosa. A água é o meio de transporte para os nutrientes que a célula necessita e para os resíduos que excreta. Se não houvesse água, não existiria vida na terra.

Apesar da grande importância da água para a humanidade, o que se observa pelo mundo, na maior parte das vezes, são atitudes negligentes e falta de visão no que diz respeito à preservação deste recurso. De fato, o futuro da espécie humana e de muitas outras espécies pode ficar comprometido, a menos que haja uma melhora significativa no gerenciamento dos recursos hídricos terrestres.

Diante disto, nesta aula vamos aprender um pouco sobre as características, a classificação e a distribuição dos recursos hídricos no Brasil e no mundo. Esperamos que as informações aqui disponibilizadas possam ajudá-los a compreender a importância de preservarmos esse recurso essencial para todos nós.

Características da água

A água pura (H_2O) é um líquido formado por moléculas de hidrogênio e oxigênio. Na natureza, ela é composta por gases como oxigênio, dióxido de carbono e nitrogênio, dissolvidos entre as moléculas de água. Também fazem parte desta solução líquida sais dissolvidos, como nitratos, cloretos e carbonatos. Elementos sólidos como poeira e areia também podem ser carregados em suspensão. Outras substâncias químicas dão cor e gosto à água. Alguns íons, como os carbonatos, podem alterar o pH da água tornando-o levemente ácido. A temperatura da água varia de acordo com a profundidade e com o local onde a água é encontrada, sendo um fator que influencia no comportamento químico. A água pode ser encontrada em três estados físicos: sólido (gelo), gasoso (vapor) e líquido.

Você Sabia?

Alguns rios de Minas Gerais apresentam naturalmente águas de coloração escura. Essa cor é causada pela presença de Fe^{3+} . Um exemplo é o Rio Cipó, situado na Serra do Cipó, Minas Gerais (Figura 1).



Figura 1 – Rio Cipó (Serra do Cipó – MG): águas escuras pela presença de Fe^{3+} . Fonte: Arquivo pessoal da autora.

ATIVIDADE 1

Você conhece algum rio ou lago próximo à cidade que você mora? Quais são as características da água desse rio ou lago? Aparentemente, é uma água de boa qualidade?

Classificação das águas

As águas são classificadas como doces, salobras ou salgadas. Existem duas classificações que diferem um pouco. A classificação mundial de águas, baseia-se no teor de sólidos totais dissolvidos (Quadro 1) e a classificação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) baseia-se na salinidade (Quadro 2).

Quadro 1- Classificação Mundial de Águas

Águas Doces	Águas com teor de sólidos totais dissolvidos (STD) inferior a 1.000 mg/l.
Águas Salobras	com STD entre 1.000 e 10.000 mg/l.
Águas Salgadas	com mais 10.000 mg/l

Quadro 2 - Classificação CONAMA de Águas

Águas Doces	águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 g/L
Águas Salobras	águas com salinidade superior a 0,5 g/L e inferior a 30 g/L;
Águas Salgadas	águas com salinidade igual ou superior a 30 g/L;

A água salobra é típica dos estuários (locais onde parte de um rio se encontra em contato com o mar) e resulta da mistura da água do rio correspondente com a água do mar. Também se encontra água salobra de origem fóssil em certos aquíferos associados a rochas salinas.

Distribuição de água na Terra

Quase toda a água do planeta está concentrada nos oceanos e mares, como pode ser visualizado na Figura 2. Apenas uma pequena fração (2,5 %) está em terra e se distribui entre águas doce (maior parte) e salobra.

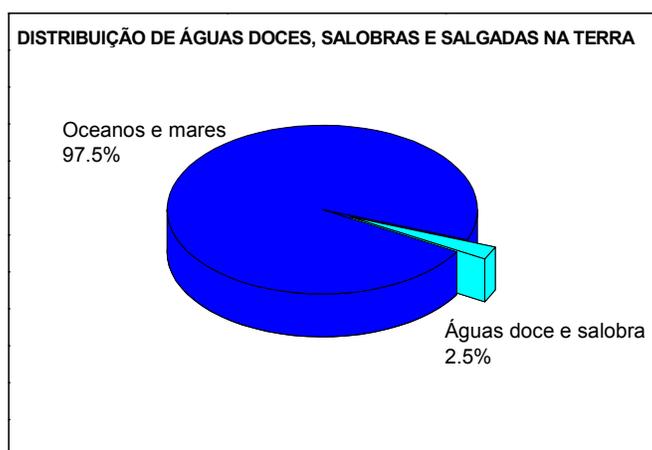


Figura 2 - Distribuição de águas doces, salobras e salgadas no planeta terra. Adaptado de Shiklomavnov (1998), citado por Tundisi (2003).

Da quantidade total de água doce, a maior parte desta está sob a forma de gelo nas calotas polares, geleiras e neves eternas que cobrem os cumes das montanhas altas da terra ou abaixo da superfície formando os aquíferos (água subterrânea), como pode ser visto na Figura 3.

As águas doces que formam os rios e lagos são apenas 0,3% de toda a água doce da terra e corresponde a um volume de 116.000 km³. O volume de água doce nos aquíferos é de 10,34 milhões de km³. Para que vocês consigam mensurar melhor essa quantidade, lembrem-se que 1 km³ corresponde a 1 trilhão de litros.

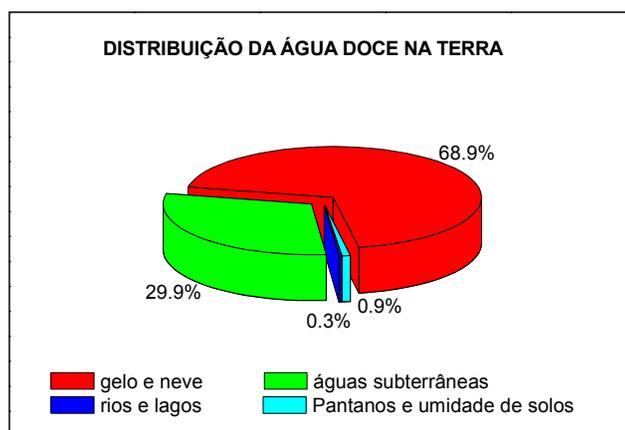


Figura 3 – Distribuição da água doce no planeta. Adaptado de Shiklomavnov (1998), citado por Tundisi (2003).

As águas utilizadas para consumo humano e para as atividades sócio-econômicas são retiradas de rios, lagos, represas e aquíferos, também conhecidos como águas interiores. O volume de água doce prontamente disponível (alguns aquíferos são de difícil acesso, como discutiremos mais a frente) seria suficiente para atender de 5 a 6 vezes o mínimo anual que cada habitante do Planeta precisa, considerando a população atual de aproximadamente 7 bilhões de habitantes.

Você Sabia?

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU) cada indivíduo precisa de 110 litros de água por dia para atender as necessidades de consumo e higiene. Isso corresponderia a um consumo per capita de cerca de 40 m³/ano.

Se em escala global a água doce é suficiente para todos, sua distribuição é irregular no território. Em termos percentuais, a distribuição relativa dos recursos hídricos por continentes está definida de acordo com o apresentado na Figura 4. Vale lembrar que apesar da Ásia possuir quase a mesma quantidade de recursos hídricos, a população deste continente é quase 10 vezes a população da América do Sul, o que reduz em muito a quantidade de água disponível por pessoa. Além disso, as demandas de uso também são diferentes, sendo maiores nos países desenvolvidos.

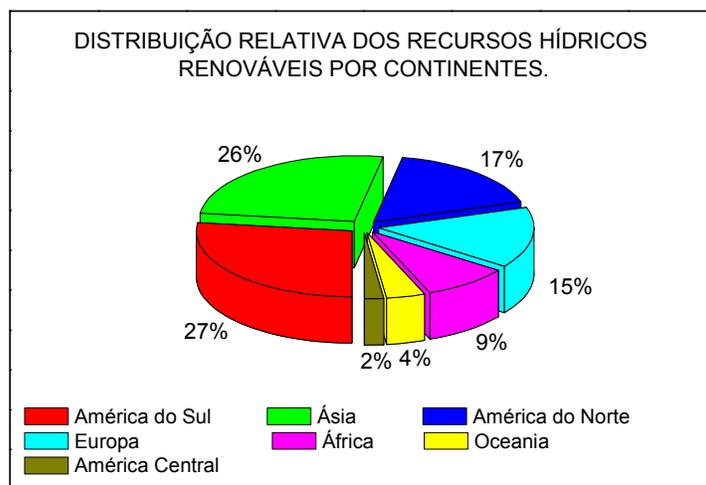


Figura 4 – Distribuição relativa dos recursos hídricos renováveis por continente.

Com o crescimento urbano, a expansão industrial e a demanda por energia hidrelétrica de um lado, e a poluição das águas superficiais e subterrâneas e as mudanças climáticas provocando severas secas de outro, fica cada vez mais difícil obter água limpa. O setor agrícola também contribui e muito para a redução da disponibilidade do recurso, pois é responsável por 65% do consumo, em média, de água doce. Para se ter uma idéia, para produzir a quantidade de alimentos necessária a uma pessoa, por dia, são utilizados de 2.000 a 5.000 litros de água.

O cenário de escassez se deve não apenas à irregularidade na distribuição da água e ao aumento das demandas - o que muitas vezes pode gerar conflitos de uso – mas também ao fato de que, nos últimos 50 anos, a degradação da qualidade da água aumentou em níveis alarmantes. Atualmente, grandes centros urbanos, industriais e áreas de desenvolvimento agrícola com grande uso de adubos químicos e agrotóxicos já

enfrentam a falta de qualidade da água, o que pode gerar graves problemas de saúde pública.

Você Sabia?

Segundo o relatório das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos no Mundo, atualmente 1,3 bilhão de pessoas não possui acesso à água potável e cerca de 40% da população mundial não dispõem de condições sanitárias básicas.

ATIVIDADE 2

Na sua casa, qual o consumo de água mensal por pessoa? Você acha que seria possível reduzir esse consumo? Como?

Distribuição de água no Brasil

O Brasil é um país privilegiado, pois detém cerca 12% da reserva hídrica do Planeta, com disponibilidade de 182.633 m³/s, além de possuir os maiores recursos mundiais, tanto superficiais (Bacias hidrográficas do Amazonas e Paraná) quanto subterrâneos (Bacias Sedimentares do Paraná, Piauí, Maranhão). Todo esse potencial tem o reforço de chuvas abundantes em mais de 90% do território, aliadas a formações geológicas que favoreceram a gênese de imensas reservas subterrâneas, como também possibilitaram a instalação de extensas redes de drenagem, gerando cursos d'água de grandes expressões. Entretanto, esse potencial hídrico está distribuído de forma irregular pelo país (Quadro 3).

Quadro 3 – Distribuição dos recursos hídricos renováveis no Brasil (IBGE, 2003)

Região	Área (%)	Popul. (%)	Densid. Demog. (hab/km ²)	Recursos Hídricos (%)	Disponibilidad e hídrica (m ³ /hab/ano)
Norte	45,3	7,6	3,35	69,2	307.603
Nordeste	18,3	28,1	30,69	3,2	3.900
Centro Oeste	18,8	6,8	7,23	15,3	75.511

Sudeste	10,8	42,6	78,2	5,8	4.615
Sul	6,8	14,8	43,54	6,4	14.553

A região Norte, por exemplo, que tem a menor densidade demográfica, possui 69,2% dos recursos hídricos, com uma disponibilidade hídrica de 307.603 m³/hab/ano. Enquanto isso, no Sudeste, essa relação se inverte: a região com maior densidade demográfica do país tem disponível apenas 5,8% do total da água.

Além da distribuição irregular, as águas superficiais das regiões mais povoadas e industrializadas apresentam muitos problemas de contaminação. Por isso, a utilização das águas subterrâneas para abastecimento tem crescido de forma significativa nos últimos tempos. Segundo o Censo de 2000 (IBGE, 2003), aproximadamente 61 % da população brasileira é abastecida, para fins domésticos, com água subterrânea, sendo que 6% se auto-abastece das águas de poços rasos, 12% de nascentes ou fontes e 43% de poços profundos. Desta forma, é importante sabermos como essa água subterrânea é armazenada e qual a disponibilidade de aquíferos no Brasil.

Águas Subterrâneas e Aquíferos no Brasil

As águas subterrâneas apresentam algumas propriedades que favorecem o seu uso em relação às águas superficiais: i) são filtradas e purificadas naturalmente através da percolação, determinando excelente qualidade e dispensando tratamentos prévios; ii) não ocupam espaço em superfície; iii) sofrem menor influência nas variações climáticas; iv) são passíveis de extração perto do local de uso; v) necessitam de custos menores como fonte de água; vi) apresentam grande proteção contra agentes poluidores; vii) o uso do recurso aumenta a reserva e melhora a qualidade; viii) possibilitam a implantação de projetos de abastecimento à medida da necessidade (Wrege, 1997).

A exploração da água subterrânea está condicionada a três fatores: quantidade (condutividade hidráulica, coeficiente de armazenamento de terrenos); qualidade (composição de rochas, condições climáticas e renovação das águas); econômico (depende da profundidade do aquífero e das condições de bombeamento).

Um aquífero é uma formação geológica do subsolo, constituída por rochas permeáveis, que armazena água em seus poros ou fraturas. A litologia do aquífero, ou seja, a sua constituição geológica (porosidade /permeabilidade intergranular ou de fissuras) é que irá determinar a velocidade da água em seu meio, a qualidade da água e a

sua qualidade como reservatório. Essa litologia é decorrente da sua origem geológica, que pode ser fluvial, lacustre, eólica, glacial e aluvial (rochas sedimentares), vulcânica (rochas fraturadas) e metamórfica (rochas calcáreas), determinando os diferentes tipos de aquíferos.

Quanto à porosidade, existem três tipos aquíferos (Figura 5):

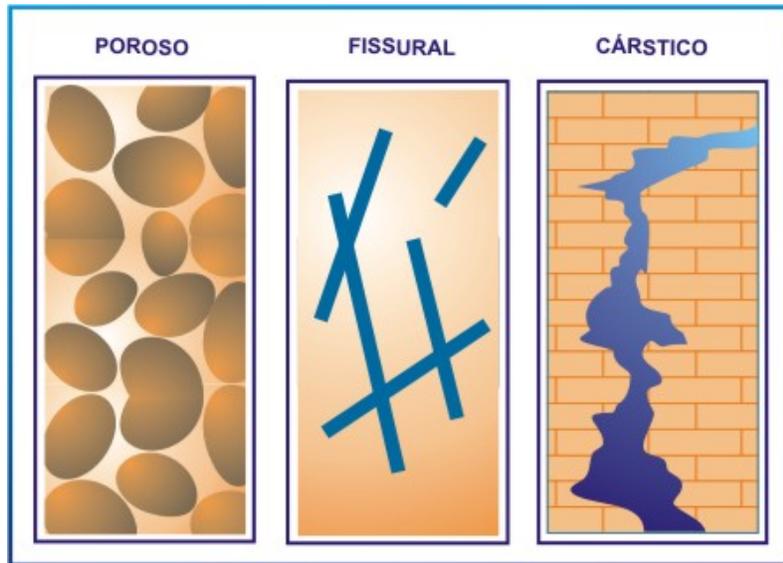


Figura 5 – Tipos de aquíferos quanto à porosidade. Fonte: Boscardin Borghetti et al. (2004).

- **Aquífero poroso ou sedimentar** – formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos não consolidados ou solos arenosos. Neste aquífero a água circula pelos poros formados entre os grãos de tamanhos variados. São os aquíferos mais importantes pelo grande volume de água que armazenam e por sua ocorrência em grandes áreas. Eles ocorrem nas bacias sedimentares e em várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos.

- **Aquífero fissural** - formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças (basalto, granitos, gabros, etc). A circulação da água ocorre nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico. A capacidade destes aquíferos está relacionada com a quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação, permitindo assim a infiltração e fluxo de água. Poços perfurados nessas rochas fornecem poucos m³ de água/h e a possibilidade de se ter um poço produtivo dependerá, somente desse poço interceptar fraturas capazes de conduzir a água.

- **Aqüífero Cárstico** – formado por rochas calcáreas ou carbonáticas (calcários, dolomitos e mármore). A circulação da água ocorre nas fraturas e outras fendas que resultaram da dissolução do carbonato pela água. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões, criando rios subterrâneos. São aquíferos heterogêneos, descontínuos, com águas duras.

Quanto à superfície superior (segundo a pressão da água), os aquíferos podem ser livres ou confinados (Figura 6).



Figura 6 – Tipos de aquífero quanto à pressão da água. Fonte: Boscardin Borghetti et al. (2004)

Aquífero livre ou freático - constituído por uma formação geológica permeável e superficial, totalmente aflorante em toda a sua extensão, e limitado na base por uma camada impermeável. A superfície superior da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica, com a qual se comunica livremente. Os aquíferos livres têm a chamada recarga direta. Em aquíferos livres o nível da água varia segundo a quantidade de chuva. São os aquíferos mais comuns e mais explorados pela população. São também os que apresentam maiores problemas de contaminação.

Aquífero confinado ou artesianos - constituído por uma formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis. A pressão da água no topo da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica naquele ponto, o que faz com que a água ascenda no poço para além da zona aquífera. O seu reabastecimento ou

recarga, através das chuvas, dá-se preferencialmente nos locais onde a formação aflora à superfície. Os aquíferos confinados têm a chamada recarga indireta e quase sempre estão em locais onde ocorrem rochas sedimentares profundas (bacias sedimentares).

Ocorrência de aquíferos no Brasil

As águas subterrâneas no Brasil ocupam diferentes tipos de reservatórios, reunindo-se em três sistemas aquíferos: porosos, fissurados e cársticos de acordo com o Quadro 4 (Leal, 1999).

Quadro 4 – Províncias hidrogeológicas e aquíferos.

Província Hidrogeológica	Domínios Aquíferos	Sistemas Aquíferos principais	Área (km ²)	Vol. Estoc. (km ³)
Escudo Oriental ¹	Embasamento Aflorante	Zonas Fraturadas	600.000	80
Escudos Setentrional, Central e Meridional ¹	Embasamento alterado	Manto de rochas alteradas e ou fraturas	4.000.000	10.000
Amazonas ²	Bacia Sedim. Amazonas	Arenitos Barreiras e Alter. Do chão	1.300.000	32.500
Parnaíba ²	Bacia Sedim. São Luís-Barreirinhas	Arenito São Luís e Itapecuru	50.000	250
Parnaíba ²	Bacia Sedimentar do Maranhão	Arenitos Itapecuru, Corda-Grajaú, Motuca, Poti-Piauí, Cabeças e S. grande	700.000	17.500
Costeira ^{2,3}	Bacia Sedimentar Potiguar-Recife	Arenitos Barreiras, Jandaíra, Açú e Beberibe	23.000	230
Costeira ²	Bacia Sedimentar Alagoas-Sergipe	Arenitos Barreiras; Murieba	10.000	100
Costeira ²	Bacia Sedimentar Jatobá-Tucano-Recôncavo	Arenitos Marizal, São Sebastião, Tacaratu	56.000	840
Paraná ²	Bacia Sedimentar Paraná (Brasil)	Arenitos Bauru-Caiuá, Serra Geral, Botucatu-Pirambóia-Rio do Rastro, Aquidauana	1.000.000	50.400
	Depósitos diversos	Aluviões, dunas	823.000	811
Total			8.512.000	112.311

¹ Aquíferos predominantemente fissurais; ² Aquíferos predominantemente porosos;

³ Aquíferos predominantemente cársticos

Felizmente, o Brasil possui uma das maiores reservas de águas subterrâneas do mundo, com mais de 110.000 km³ de água, o que nos deixa numa situação confortável.

Dentre os vários aquíferos brasileiros destacaremos, pela sua importância, o Aquífero Guarani.

O Guarani é um dos maiores aquíferos do mundo, cobrindo uma superfície de quase 1,2 milhões de km². Está inserido na Bacia Geológica Sedimentar do Paraná, localizada no Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina, e constitui a principal reserva de água subterrânea da América do Sul, com um volume estimado em 46 mil km³. Em termos percentuais, 70,2% do aquífero se encontra em território brasileiro. Estima-se que por ano o Aquífero Guarani receba 160 km³ de água adicional vindas da superfície. Este é um ponto que pode ser considerado um problema ou uma solução. Se estas águas superficiais estiverem contaminadas, a qualidade das águas do aquífero ficará comprometida. Sendo assim, é importante cuidar também das águas subterrâneas, evitando a contaminação deste precioso recurso hídrico.

Você Sabia?

Em termos de área, os maiores aquíferos do mundo são:

- Arenito Núbia Líbia, Egito, Chade, Sudão (2 milhões de km²)
- Grande Bacia Artesiana - Austrália (1,7 milhões km²)
- Guarani - Argentina, Brasil, Paraguai, Uruguai (1,2 milhões de km²)
- Bacia Murray - Austrália (297 mil km²)

Consolidando o conhecimento

Além das atividades requeridas ao longo do texto, e que você muito certamente já realizou, solicitamos agora que você busque algumas informações sobre os recursos hídricos e o abastecimento de água na sua cidade.

1 - Fale um pouco sobre as características dos recursos hídricos da sua cidade.

2 – O abastecimento de água da sua cidade é feito por meio de águas superficiais ou subterrâneas?

3 – De uma forma geral, você acha que as pessoas que moram na sua cidade fazem um bom uso da água e tem consciência da importância desse recurso? Cite alguns exemplos.

4 - Qual a atividade econômica predominante na sua cidade? Você acha que essa atividade apresenta um alto consumo de água?

Referências

Borghetti, N. R. B.; Borghetti, J. R.; Rosa Filho, E. F da. **Aqüífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba, 2004. 214p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, **Levantamento de recursos naturais**, 2003.

Leal, A. de S. As águas subterrâneas no Brasil: ocorrências, disponibilidade e usos. In: Freitas, M. A. V. de. (Ed.). **O estado das águas no Brasil**: perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos. Brasília, DF: ANEEL-SRH/MME/MMA-SRH/OMM, 1999. p. 139-164.

Rebouças, A. C. **Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez**. Bahia, Análise & Dados, Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 341-345, 2003.

Spiro, T.G.; Stigliani, W.M. Química Ambiental, Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2008, 2ª ed., 334p.

Tundisi, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos, SP: RiMa, 2003. 248p.

Wrege, M. **Termos Hidrogeológicos Básicos**. Caderno Técnico da associação Brasileira Águas Subterrâneas, nº 4, 1997

<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua.html> acessado em 10/01/2011.

http://www.socioambiental.org/esp/agua/pgn/index_html acessado em 18/01/2011.

AULA 2

CONTAMINAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Meta

Conhecer as fontes de contaminação dos recursos hídricos e os parâmetros de qualidade das águas.

Objetivos

Com as informações adquiridas ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Conhecer as principais fontes de contaminação dos recursos hídricos;
- Conhecer as legislações brasileiras que estabelecem a classificação e os critérios de qualidade dos recursos hídricos;
- Conhecer os principais parâmetros de qualidade das águas;
- Ter ciência da importância da química no monitoramento da qualidade das águas.

Introdução

Como já vimos na primeira aula, a água é um recurso fundamental para a existência da vida. Em todas as comunidades a água é utilizada para suprir as necessidades higiênicas e alimentares, entre outras. Só que o uso da água nas diversas atividades humanas tem causado a contaminação dos recursos hídricos.

Com o aumento da população e do desenvolvimento dos grandes centros urbanos, um volume de água cada vez maior é requerido e a contaminação tem aumentado de forma desastrosa. Devido ao uso crescente e manejo inadequado dos recursos hídricos, muito se fala atualmente sobre a escassez de água potável.

Para que possamos entender como chegamos à situação atual, leia o texto que é baseado no livro “Introdução à Química Ambiental”, que consta das referências bibliográficas.

HISTÓRICO

Quando poucos homens viviam sobre a Terra, estes viviam em grupos e eram nômades, isto é, se alimentavam de frutas, vegetais e animais de um certo lugar e quando a escassez aumentava, viajavam em busca de outro local mais farto. Estes grupos de humanos andavam próximos ao curso dos rios, de onde retiravam água, e não tinham moradias fixas. Quando abandonavam um local, todo o lixo que eles produziam e dispunham no ambiente era degradado de forma lenta e natural. Com o passar do tempo, o homem foi domesticando alguns animais para se alimentar, e as técnicas de agricultura também foram aprimoradas, ou seja, plantar o que comer. Com isso, este homem que antes viajava sempre que o alimento acabava, passou a se fixar em um determinado local, pois tinha o que precisava em torno de si. De nômade passou a ser sedentário. Com isso se deu início à manufatura, urbanização e industrialização. Junto com os benefícios vieram as conseqüências ambientais maléficas como o acúmulo de lixo produzido. A taxa de geração de lixo era maior do que o tempo que a natureza levaria para degenerá-lo. Com o aumento do lixo acumulado, as condições para a proliferação de microorganismos e insetos também aumentaram e devido à proximidade com o homem, a disseminação de doenças também aumentou.

E o que fazer com o lixo produzido? Este era um sério problema enfrentado desde o primórdio das civilizações e a solução mais intuitiva era jogar no rio. Com a correnteza, o lixo seria levado para longe e se evitariam os problemas. Assim, deu-se início à contaminação das águas com o conhecido esgoto doméstico. Hoje sabemos que esta contaminação pode causar a morte de plantas e animais, comprometendo irremediavelmente o ecossistema local.

A primeira rede de distribuição de água e captação de esgoto de forma eficiente foi construída há aproximadamente 4.000 anos na Índia. Grandes tubos feitos de argila levavam as águas residuais e os detritos para canais cobertos que corriam pelas ruas e desembocavam nos campos, adubando e regando as colheitas. Algumas cidades da antiga Grécia e a maioria das cidades romanas também dispunham de sistemas de esgotos. A população obtinha água para o abastecimento em fontes públicas e utilizava latrinas comunitárias para as necessidades fisiológicas, como a Toaleta de Ephesus do século 1 d.C. Sob os assentos havia água corrente para levar os dejetos e para que o usuário lavasse a mão esquerda, utilizada na limpeza corporal.

A Idade Média (400 a 1400 d.C.) foi um período de 10 séculos sem avanços sanitários. Lixo de todo tipo se acumulava nas ruas, facilitando a proliferação de ratos e criando sérios problemas de saúde pública um dos mais graves foi a epidemia da peste bubônica, que só na Europa, causou a morte de cerca de 25 milhões de pessoas.

No final do século XVIII, com a Revolução Industrial, a população das cidades aumentou muito causando agravamento do acúmulo de lixo e excrementos nas ruas. Isso tornou

necessária e urgente a criação de um sistema de esgotos que desse conta da demanda, caso contrário, corria-se o risco de deter o progresso industrial pelo surgimento de novas epidemias e conseqüentemente êxodo das cidades. Como os esgotos eram descartados sem tratamento, os rios passaram a sofrer os efeitos da poluição, caracterizados pela morte dos peixes, do ecossistema, bem como a transmissão de doenças como a cólera.

Na Inglaterra surgiram as primeiras tentativas de medir e caracterizar a poluição, os primeiros regulamentos de proteção aos cursos d'água e os primeiros processos de tratamento de águas residuais. A primeira medida adotada foi a construção de sistemas de esgotos subterrâneos, o que ocorreu pela primeira vez em 1843 em Hamburgo, na Alemanha, quando a cidade foi reconstruída após um incêndio. Cientistas do século XIX concentraram esforços para combater as causas das diferentes doenças surgidas devido à falta de saneamento básico, o que impulsionou o desenvolvimento da microbiologia.

A primeira Estação de Tratamento de Água (ETA) foi construída em Londres em 1829 e tinha a função de coar a água do rio Tâmisa em filtros de areia. A idéia de tratar o esgoto antes de lançá-lo ao meio ambiente, porém, só foi testada pela primeira vez em 1874 na cidade de Windsor, Inglaterra. Não se sabia como as doenças saíam do lixo e chegavam ao nosso corpo. A idéia inicial é que vinham do ar, pois o volume de ar respirado por dia é muito superior ao volume de água ingerido. Porém com a descoberta de que doenças letais da época (como a cólera e a febre tifóide) eram transmitidas pela água, técnicas de filtração e a cloração foram mais amplamente estudadas e empregadas.

Como podemos verificar pelo texto descrito anteriormente, a contaminação dos recursos hídricos ocorre há muitos séculos e a preocupação com a qualidade destes recursos é relativamente recente. Além disso, com o desenvolvimento tecnológico as quantidades e a variedade de contaminantes lançados no meio ambiente têm aumentado visivelmente. Atualmente, as principais fontes poluidoras dos recursos hídricos são as atividades agrícolas, as atividades industriais e os efluentes domésticos.

ATIVIDADE 1

Cite 2 exemplos de poluentes associados às seguintes fontes poluidoras:

- 1) atividades agrícolas: _____
- 2) atividades industriais: _____
- 3) efluentes domésticos: _____

E como é possível minimizar a contaminação dos recursos hídricos? Para isso é fundamental controlar o aporte de poluentes nos mananciais. Esse controle deve ser um compromisso de todos e no Brasil é regulamento através de resoluções que estabelecem as concentrações máximas de contaminantes que podem ser descartados em mananciais e os critérios de qualidade dos recursos hídricos, como veremos à seguir.

CrITÉrios de Qualidade dos recursos hídricos

No Brasil, os critérios de qualidade dos recursos hídricos são descritos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Infelizmente, a primeira resolução sobre qualidade de recursos hídricos no Brasil só surgiu em 1986 (Resolução CONAMA nº 20). Quase 20 anos depois, em 2005, essa resolução foi alterada pela Resolução nº 357, que está vigente. Essa resolução estabelece a classificação e os critérios de qualidade para águas superficiais e também estabelece os limites máximos para lançamento de efluentes em mananciais. Além disso, existe a Resolução CONAMA nº 274 de 2000, que trata dos padrões de balneabilidade e a Resolução CONAMA nº 396 de 2008 que estabelece os critérios de qualidade para águas subterrâneas, que como já vimos é a maior fonte de água potável disponível no Brasil.

Os critérios de qualidade estabelecidos na Resolução nº 357 são baseados no uso que a água terá. Por exemplo, a qualidade exigida para uma água utilizada para abastecimento doméstico é muito diferente da qualidade exigida para navegação. No Quadro 2.1 vocês podem verificar como é feita essa classificação em função dos usos da água.

Para cada classe de água, são estabelecidos critérios de qualidade específicos. Neste momento é importante que vocês acessem no site do Ministério do Meio Ambiente a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 (<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>) e vejam quais são os parâmetros de qualidade estabelecidos e como eles se alteram em função da classificação das águas superficiais.

Quadro 2.1. Classificação das águas em função de seus usos (CONAMA, 2005)

Uso	Classe												
	Doces					Salinas				Salobras			
	Esp	1	2	3	4	Esp	1	2	3	Esp	1	2	3
Abastecimento doméstico	X	X	X	X							X		
Preservação e equilíbrio das Comunidades aquáticas	X					X				X			
Proteção das comunidades aquáticas		X	X				X				X		
Recreação de contato primário		X	X				X				X		
Irrigação		X	X	X							X		
Criação natural e/ou intensiva de espécies (aquicultura)			X				X				X		
Dessedentação de animais				X									
Navegação					X				X				X
Pesca amadora				X				X				X	
Harmonia Paisagística					X				X				X
Recreação de contato secundário				X				X				X	
Usos menos exigentes					X				X				X

ATIVIDADE 2

Com base na Resolução CONAMA nº 357, responda:

a) Cite 3 diferenças entre os parâmetros estabelecidos para Águas Doces Classe 1 e Classe 2.

b) Dentre os parâmetros inorgânicos, cite 2 que estão muito associados à esgotos domésticos.

c) Dentre os parâmetros orgânicos, cite 3 que estão associados às atividades agrícolas.

Você Sabia?

Que a Resolução nº 357 criada em 2005 é bem mais restritiva que a Resolução nº 20 de 1986. Na Resolução nº 357, novos parâmetros foram acrescentados e os limites estabelecidos para vários parâmetros tiveram seus valores reduzidos.

Agora que vocês já conhecem um pouco da Resolução CONAMA nº 357, discutiremos sobre alguns parâmetros para avaliação da Qualidade de Águas.

Parâmetros para Avaliação da Qualidade de Águas

Os parâmetros para avaliação da qualidade de águas são divididos em:

Parâmetros Físicos: temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, cor, turbidez;

Parâmetros Químicos: alcalinidade total, alcalinidade bicarbonato, dureza de cálcio, dureza de magnésio, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}), demanda química de oxigênio (DQO), série de nitrogênio (orgânico, amoniacal, nitrato e nitrito), fósforo total, surfactantes aniônicos, óleos e graxas, cianetos, fenóis, cloretos, ferro, potássio, sódio, sulfetos, magnésio, manganês, alumínio, zinco, bário, cádmio, boro, arsênio, níquel, chumbo, cobre, cromo (III), cromo (VI), selênio, mercúrio;

Parâmetros Microbiológicos: coliformes fecais, coliformes totais e estreptococos totais;

Parâmetros Físicos

a) Temperatura - fator que influencia a grande maioria dos processos físicos, químicos e biológicos na água, assim como outros processos como a solubilidade dos gases dissolvidos. O aumento da temperatura diminui a solubilidade dos gases dissolvidos (como O₂, essencial para os peixes) e diminui os processos aeróbicos no meio aquático. Desta forma, os processos anaeróbicos podem predominar, causando assim mau cheiro proveniente dos produtos da degradação anaeróbia (CH₄, H₂S, etc.).

b) Condutividade elétrica - determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions e pela temperatura. As principais fontes dos sais de

origem antropogênica: descargas industriais de sais, consumo de sal em residências e no comércio, excreções (homens e animais). A condutância específica fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral.

c) Cor - originada de forma natural, a partir da decomposição da matéria orgânica (ácidos húmicos e fúlvicos) e Fe e Mn. A origem antropogênica surge dos resíduos industriais e esgotos domésticos. A cloração da água contendo a matéria orgânica dissolvida pode gerar produtos potencialmente cancerígenos (trihalometanos)

d) Turbidez - representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma. A alta turbidez reduz a fotossíntese da vegetação enraizada submersa e das algas, que por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas.

e) Sólidos - Todas as impurezas da água, (com exceção dos gases dissolvidos) contribuem para a carga de sólidos, os quais são classificados de acordo com seu tamanho e características químicas. A unidade de medição normal para o teor em sólidos não dissolvidos é o peso dos sólidos filtráveis, expresso em mg/L. Os sólidos filtráveis encontram-se como: sólidos turvos, sólidos flutuantes (são determinados, através de aparelhos adequados), sólidos sedimentáveis e sólidos não sedimentáveis

Parâmetros Químicos

a) Alcalinidade - quantidade de íons na água que reagirão para neutralizar os íons hidrogênio. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos, carbonatos e os hidróxidos.

As origens naturais: a dissolução de rochas, as reações do CO₂ dissolvido e a decomposição da matéria orgânica.

Origens antropogênicas: os despejos industriais e esgotos domésticos

Esta variável é importante no controle do tratamento de água, estando relacionada com a coagulação, redução de dureza e prevenção da corrosão em tubulações.

b) Cianetos (CN) - são os sais do HCN podendo ocorrer na água em forma de ânion (CN⁻) ou de cianeto de hidrogênio (HCN). Em valores neutros de pH prevalece o

cianeto de hidrogênio. Cianetos são muito tóxicos para microorganismos. Uma diferenciação analítica entre cianetos livres e complexos é imprescindível, visto que a toxicidade do cianeto livre é muito maior.

Você Sabia?

Os cianetos são utilizados na indústria galvânica, no processamento de minérios (lixiviação de cianeto) e na indústria química. São também aplicados em pigmentos e praguicidas.

c) Cloretos - As águas naturais, em menor ou maior escala, contêm íons resultantes da dissolução de minerais. Um aumento no teor de cloretos na água é indicador de uma possível poluição por esgotos (através de excreção de cloreto pela urina) ou por despejos industriais, e acelera os processos de corrosão em tubulações de aço e de alumínio, além de alterar o sabor da água.

d) Dureza - concentração de cátions divalentes Ca^{2+} e Mg^{2+} . As principais fontes de dureza são a dissolução de minerais contendo cálcio e magnésio, provenientes das rochas calcáreas e dos despejos industriais. A ocorrência de determinadas concentrações de dureza causa um sabor desagradável e pode ter efeitos laxativos. Além disso, causa incrustação nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores, em função da maior precipitação nas temperaturas elevadas

e) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) - é definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas. Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20° C é frequentemente usado e referido como $\text{DBO}_{5,20}$.

Os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis e, ainda, obstruir os filtros de areia utilizados nas estações de tratamento de água.

f) Demanda Química de Oxigênio (DQO) - é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica através de um agente químico. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO, sendo o teste realizado num prazo menor e em primeiro lugar, orientando o teste da DBO. A análise da DQO é útil para detectar a presença de substâncias resistentes à degradação biológica. O aumento da concentração da DQO num corpo d'água se deve principalmente a despejos de origem industrial.

g) Oxigênio Dissolvido (OD) - é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução de sua concentração no meio. Através da medição do teor de oxigênio dissolvido os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras e a eficiência do tratamento dos esgotos, durante a oxidação bioquímica, podem ser avaliados.

h) Fenóis - são compostos orgânicos oriundos, nos corpos d'água, principalmente dos despejos industriais. São tóxicos aos organismos aquáticos em concentrações bastante baixas, e afetam o sabor dos peixes e a aceitabilidade das águas. O contato com a pele provoca lesões irritativas e após ingestão podem ocorrer lesões cáusticas na boca, faringe, esôfago e estômago, manifestadas por dores intensas, náuseas, vômitos e diarreias, podendo ser fatal. Após absorção, tem ação lesiva sobre o sistema nervoso podendo ocasionar cefaléia, paralisias, tremores, convulsões e coma.

i) Fósforo Total - é originado naturalmente da dissolução de compostos do solo e da decomposição da matéria orgânica. O aporte antropogênico é oriundo dos despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes.

Você Sabia?

Eutrofização é o fenômeno causado pelo excesso de nutrientes (principalmente fósforo e nitrogênio) na água, provocando um aumento excessivo de algas. Este aumento da biomassa pode levar a uma diminuição do O₂ dissolvido, provocando a morte e conseqüente decomposição de muitos organismos, diminuindo a qualidade da água.

j) Nitrogênio Amoniacal (amônia) - substância tóxica não persistente e não cumulativa. Sua concentração, que normalmente é baixa, não causa nenhum dano fisiológico aos seres humanos e animais. Grandes quantidades de amônia podem causar sufocamento de peixes. A concentração total de Nitrogênio é altamente importante considerando-se os aspectos tópicos do corpo d'água.

k) Nitrato - principal forma de nitrogênio encontrada nas águas. Concentrações de nitratos superiores a 5 mg/L demonstram condições sanitárias inadequadas, pois as principais fontes são dejetos humanos e animais. Também causam eutrofização.

l) Nitrito - forma química do nitrogênio normalmente encontrada em quantidades diminutas nas águas superficiais, pois o nitrito é instável na presença do oxigênio, ocorrendo como uma forma intermediária. O íon nitrito pode ser utilizado pelas plantas como uma fonte de nitrogênio. A presença de nitritos em água indica processos biológicos ativos influenciados por poluição orgânica.

m) Potencial Hidrogeniônico (pH) - define o caráter ácido, básico ou neutro de uma solução. Os organismos aquáticos estão geralmente adaptados às condições de neutralidade e, em consequência, alterações bruscas do pH de uma água podem resultar no desaparecimento dos organismos presentes na mesma. Os valores fora das faixas recomendadas podem alterar o sabor da água e contribuir para corrosão do sistema de distribuição de água, ocorrendo, assim, uma possível extração do ferro, cobre, chumbo, zinco e cádmio, e dificultar a descontaminação das águas.

n) Óleos e Graxas - são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. Estas substâncias geralmente são hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros. São raramente encontrados em águas naturais, normalmente oriundos de despejos e resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolina, estradas e vias públicas. Os despejos de origem industrial são os que mais contribuem para o aumento de matérias graxas nos corpos d'água, dentre eles, destacam-se os de refinarias, frigoríficos e indústrias de sabão.

A pequena solubilidade dos óleos e graxas constitui um fator negativo no que se refere à sua degradação em unidades de tratamento de despejos por processos biológicos e,

quando presentes em mananciais utilizados para abastecimento público, causam problemas no tratamento de água.

o) Sulfetos - são combinações de metais, não metais, complexos e radicais orgânicos, ou são os sais e ésteres do ácido sulfídrico (H₂S), respectivamente. A maioria dos sulfetos metálicos de uso comercial é de origem vulcânica. Sulfetos metálicos têm importante papel na química analítica para a identificação de metais. Sulfetos inorgânicos encontram aplicações como pigmentos e substâncias luminescentes. Sulfetos orgânicos e disulfetos são amplamente distribuídos nos reinos animal e vegetal. Os íons de sulfeto presentes na água podem precipitar na forma de sulfetos metálicos em condições anaeróbicas e na presença de determinados íons metálicos.

p) Surfactantes - As substâncias tensoativas reduzem a tensão superficial da água, pois possuem em sua molécula uma parte solúvel e outra não solúvel na água. A constituição dos detergentes sintéticos tem como princípio ativo o denominado “surfactante” e algumas substâncias denominadas de coadjuvantes, como o fosfato. O principal inconveniente dos detergentes na água se relaciona aos fatores estéticos, devido à formação de espumas em ambientes aeróbios.

q) Metais (Ferro, potássio, sódio, magnésio, manganês, alumínio, zinco, bário, cádmio, boro, arsênio, níquel, chumbo, cobre, cromo (III), cromo (VI), selênio, mercúrio) – apresentam diferentes características e toxicidades variadas. As concentrações permitidas são uma função dessa toxicidade. A presença desses metais na água está associada principalmente com despejo de efluentes industriais e de lixiviação de fertilizantes.

o) Contaminantes orgânicos (pesticidas, compostos policíclicos aromáticos, bifenilas policloradas, solventes, etc) – também apresentam características distintas e toxicidades variadas, sendo que as concentrações estabelecidas dependem da toxicidade (quanto mais tóxico, menor é a concentração permitida).

Parâmetros microbiológicos

Repicagem e contagem de coliformes fecais, coliformes totais e estreptococos totais em tubos múltiplos. Em águas para o uso de recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA n° 274, de 2000.

Ensaio de Toxicidade

Além dos parâmetros de qualidade descritos, os ensaios de toxicidade tem sido muito utilizados nos países desenvolvidos, e em alguns estados do Brasil, pois complementam a metodologia tradicionalmente adotada. Os ensaios de toxicidade consistem na determinação do potencial tóxico de um agente químico ou de uma mistura complexa, sendo os efeitos desses poluentes detectados através da resposta de organismos vivos. O organismo aquático utilizado é o microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia*. São utilizadas as denominações Agudo, Crônico e Não Tóxico, para eventuais descrições dos efeitos deletérios sobre os organismos aquáticos.

Agudo - resposta severa e rápida a um estímulo, a qual se manifesta nos organismos aquáticos em tempos relativamente curtos (0 a 96 horas), sendo o efeito morte o mais observado.

Crônico - resposta a um estímulo que continua por longos períodos de exposição do organismo ao poluente, que pode ser expressa através de mudanças comportamentais, alterações fisiológicas, genéticas e de reprodução, etc.

Consolidando o conhecimento

Além das atividades requeridas ao longo do texto, e que você muito certamente já realizou, solicitamos agora que você faça o trabalho descrito a seguir. Este trabalho deverá ser enviado pela plataforma Moodle.

Considerando seus conhecimentos adquiridos na área de química até o momento e a literatura na área, descreva métodos analíticos e as reações químicas envolvidas, para a determinação dos seguintes parâmetros químicos de qualidade de águas:

- 1) Dureza
- 2) Demanda Química de Oxigênio

Referências

Rocha, J.C.; Rosa, A.H.; Cardoso, A.A. Introdução à Química Ambiental, Editora Bookman, Porto Alegre, 2ª edição, 2009.

Manahan, S.E. Environmental Chemistry, Lewis Publishers, Boca Raton, 6th edition, 1994.

Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), Resolução nº 20 de 18 de junho de 1986.

Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), Resolução nº 274 de 29 de novembro de 2000.

Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), Resolução nº 357 de 17 de março de 2005.

Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), Resolução nº 396 de 3 de abril de 2008.

AULA 3

TRATAMENTO DE ÁGUA E DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

Meta

Conhecer os processos utilizados para o tratamento de água e de efluentes domésticos.

Objetivos

Com as informações adquiridas ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Conhecer o ciclo hidrológico e sua importância para o meio ambiente;
- Conhecer as principais etapas do tratamento de águas de abastecimento;
- Conhecer alguns dos sistemas utilizados no tratamento de efluentes domésticos;
- Comparar os sistemas de tratamento de efluentes em relação à eficiência.

Introdução

A água é a substância mais reciclável na natureza e faz parte essencial de todas as formas de vida dos reinos vegetal e animal, encontrando-se por toda a parte na crosta terrestre e na atmosfera. Quando o nível de contaminação dos recursos hídricos ainda não era tão elevado, como nos dias de hoje (como vimos na aula anterior), a própria natureza tentava manter a qualidade da água, o que era feito, em parte, através do ciclo hidrológico. Depois com o aumento da população e o desenvolvimento industrial, a quantidade e variedade de poluentes aumentaram e houve a necessidade de investimentos em processos para remoção de poluentes de águas e de efluentes. Nesta aula aprenderemos um pouco sobre o ciclo hidrológico e também sobre processos físicos, químicos e biológicos utilizados no tratamento de águas e de efluentes domésticos.

Ciclo Hidrológico

Ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre.

O ciclo hidrológico (Figura 3.1) está ligado ao movimento e à troca de água nos seus diferentes estados físicos (sólido, líquido e gasoso), que ocorre na Hidrosfera, entre os oceanos, as calotas de gelo, as águas superficiais, as águas subterrâneas e a atmosfera. Este movimento permanente deve-se ao Sol, que fornece a energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (**evaporação**), e à gravidade, que faz com que a água condensada caia (**precipitação**) e que, uma vez na superfície, circule através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos (**escoamento superficial**) ou se infiltre nos solos e nas rochas, através dos seus poros, fissuras e fraturas (**infiltração**). Nem toda a água precipitada alcança a superfície terrestre, já que uma parte, na sua queda, pode ser interceptada pela vegetação e volta a evaporar-se.

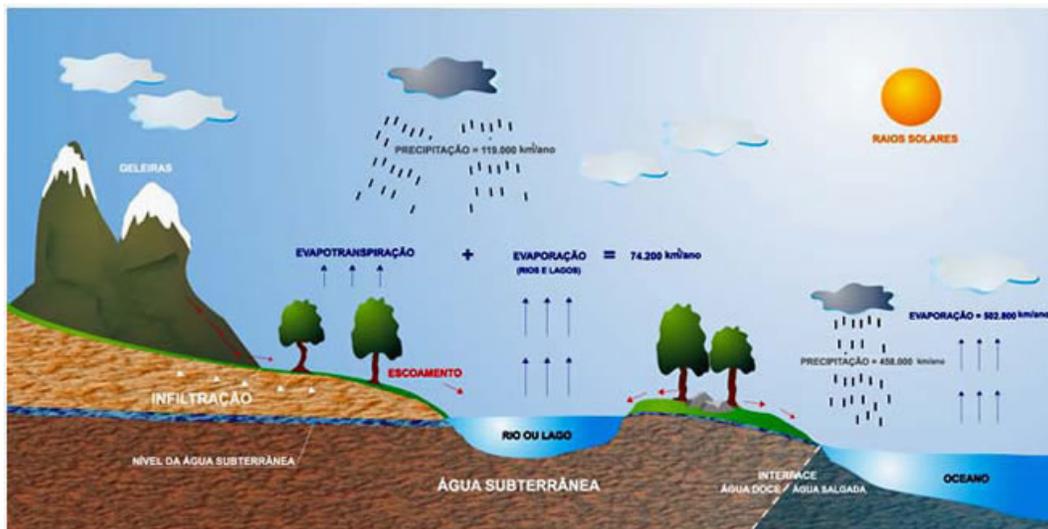


Figura 3.1. Ciclo hidrológico. Fonte: Boscardin Borghetti et al. (2004)

A água que se infiltra superficialmente no solo pode evaporar diretamente para a atmosfera ou ser absorvida pela vegetação, que através da transpiração, a devolve à atmosfera. Este processo chamado **evapotranspiração** ocorre no topo da zona não saturada, ou seja, na zona onde os espaços entre as partículas de solo contêm tanto ar

como água. A água que continua a infiltrar-se e atinge a zona saturada, entra na circulação subterrânea e contribui para um aumento da água armazenada (**recarga dos aquíferos**). Neste processo de circulação da água, parte dos contaminantes é removida. Por outro lado, durante a precipitação a água pode arrastar poluentes contidos no ar causando, por exemplo, problemas como a chuva ácida que veremos mais adiante.

Você Sabia?

- A quantidade total de vapor de água na atmosfera é equivalente a cerca de uma semana de precipitação em todo o globo.
- 84% da água que evapora para a atmosfera tem origem nos oceanos, enquanto que apenas 16% são oriundos dos continentes

Tratamento de água

Nem toda água requer tratamento para abastecimento público. Depende da sua qualidade em comparação com os padrões de consumo e também da aceitação dos usuários. Normalmente as águas de superfície são as que mais necessitam de tratamento, porque se apresentam com qualidades físicas e bacteriológicas impróprias, em virtude de sua exposição contínua a uma gama muito maior de processos de poluição. Apenas na captação superficial de águas de nascentes, a simples proteção das cabeceiras e o emprego de um processo de desinfecção, podem garantir uma água de boa qualidade do ponto de vista de potabilidade.

Quando a água não é potável, ela passa por estações de tratamento de água (ETA). O tratamento de água é iniciado nas barragens, através de um serviço de proteção aos mananciais que visa evitar a poluição da água por detritos, impurezas e mesmo lançamentos de origem doméstica, agrícola ou industrial, que desta ou daquela maneira, alterem a qualidade dos mesmos. Além disso, controla-se o crescimento excessivo de algas e outros microorganismos, através de análises de rotina, onde não se pode atingir um número superior a 1000 microorganismos/cm³. Se isso acontecer, é feita uma desinfecção do manancial com sulfato de cobre, ou hipoclorito de sódio a depender da sensibilidade das algas a este ou aquele algicida. Após ser captada nos mananciais a água é conduzida até a ETA. Uma ETA, comporta os seguintes processos:

- a) remoção de substâncias grosseiras flutuantes ou em suspensão por meio de grades, crivos e telas;
- b) remoção de substâncias finas em suspensão ou em solução e de gases dissolvidos empregando sistemas de aeração, sedimentação e filtração;
- c) remoção parcial ou total de bactérias e outros microrganismos através de desinfecção;
- d) correção de odor e sabor por meio de tratamentos químicos e leitos de contato com carvão ativado;
- e) correção de dureza e controle da corrosão empregando tratamentos químicos;
- f) remoção ou redução de outras substâncias químicas.

Destacaremos agora, alguns dos principais processos utilizados no tratamento de água.

Processos de tratamentos físico-químicos e de desinfecção

O procedimento convencional começa pelos ensaios de turbidez, cor e pH. A turbidez ou turvação da água é ocasionada pela presença de argilas, matéria orgânica e microrganismos, mono e policelulares. A cor se deve à presença de tanino, oriundo dos vegetais e, em geral, varia de incolor até o castanho intenso.

Na estação de tratamento de água chega a água bruta. Para remoção da cor e da turbidez a água passa pelas etapas de floculação, decantação e filtração.

Floculação é o processo no qual a água recebe substâncias químicas, que pode ser o sulfato de alumínio, sulfato ferroso, entre outras. Este produto faz com que as impurezas da água reajam com a substância química, formando compostos mais pesados, flocos, para serem facilmente removidos no processo seguinte. Não há uma regra geral para prever o melhor floculante. O que se faz normalmente é averiguar, por meio de ensaios de laboratório, se determinado floculante satisfaz às exigências previstas. O floculante mais largamente empregado é o sulfato de alumínio, de aplicação restrita à faixa de pH situada entre 5,5 e 8,0. Quando o pH da água não se encontra nessa faixa, costuma-se adicionar cal ou aluminato de sódio, a fim de elevar o pH, permitindo a formação dos flóculos de hidróxido de alumínio. O aluminato de sódio, empregado juntamente com o sulfato de alumínio, tem faixa de aplicação restrita a pHs elevados, onde se salienta, em certos casos, a remoção do íon magnésio.

Na decantação, como os flocos de sujeira são mais pesados do que a água, caem e se depositam no fundo do decantador. O período médio de retenção da água nesses tanques é de três horas.

Na filtração, a água passa por várias camadas filtrantes, compostas por areias de granulometria variada, onde ocorre a retenção dos flocos menores que não ficaram na decantação. A água então fica livre das impurezas. Estas três etapas: floculação, decantação e filtração recebem o nome de clarificação. Nesta fase, todas as partículas de impurezas são removidas deixando a água límpida. Mas ainda não está pronta para ser usada. Para garantir a qualidade da água, após a clarificação é feita a desinfecção (cloração). A cloração consiste na adição de cloro na água clarificada. Este produto é usado para destruição de microorganismos presentes na água, que não foram retidos na etapa anterior. O cloro é aplicado em forma de gás ou em soluções de hipoclorito, numa proporção que varia de acordo com a qualidade da água e de acordo com o cloro residual que se deseja manter na rede de abastecimento. O cloro tem função bactericida e clarificante e é utilizado para desinfecção, para reduzir gosto, odor e coloração da água, e é considerado indispensável para a potabilização da água. O cloro é um produto perigoso e exige cuidado no seu manuseio.

Você Sabia?

A associação do cloro com algumas substâncias orgânicas contidas na água pode levar a formação dos chamados trihalometanos, ou compostos orgânicos clorados. Esses compostos podem afetar o sistema nervoso central, o fígado e os rins, e também são conhecidos como compostos carcinogênicos, teratogênicos e abortivos.

Além das etapas tradicionais descritas, o tratamento pode também contar com uma etapa adicional, a fluoretação. O produto aplicado tem a função de colaborar para redução da incidência da cárie dentária. O flúor é aplicado na água usando como produtos fluorsilicato de sódio ou ácido fluorsilícico.

ATIVIDADE 1

Você sabe se a água da sua cidade é tratada? Se informe sobre o(s) tratamento(s) utilizado(s) e o(s) descreva aqui.

Controle dos tratamentos de água

Para ter certeza de que os tratamentos realizados estão sendo eficazes e que a água que será distribuída para as residências apresenta qualidade adequada, são feitas análises químicas e microbiológicas. Cada Estação de Tratamento de Água possui um laboratório que processa essas análises. Além disso, pode existir um laboratório especial que faz a aferição de todos os sistemas e também realiza análises para a identificação de resíduos de pesticidas, metais pesados e plâncton. Essas análises são feitas na água bruta, durante o tratamento e em pontos da rede de distribuição, de acordo com o que estabelece a legislação em vigor.

Concluído o tratamento, a água é armazenada em reservatórios e segue até as residências através de canalizações.

Tratamento de Efluentes Domésticos

Geração de Efluentes Domésticos

Os efluentes domésticos (esgotos) são gerados pelo uso da água de abastecimento nas atividades diárias, o que acarreta a introdução de impurezas (materiais de higiene e limpeza, óleos, restos de alimentos, poeira, etc). Os principais constituintes dos esgotos domésticos são:

- Água (99,9%)
- Sólidos (0,1%): sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, matéria orgânica, nutrientes (N, P), organismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários, helmintos)

O tratamento dos esgotos visa a remoção da parte sólida, eliminando assim as impurezas que podem causar danos ao meio ambiente. Idealmente, o esgoto é tratado nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) e o tipo de tratamento varia de acordo com a região. A água resultante desse tratamento pode ser reutilizada para fins não nobres, como, por exemplo, alguns usos industriais. Quando não reutilizada, é lançada diretamente nos rios. Infelizmente, grande parte dos esgotos produzidos no Brasil, é

despejada diariamente nos córregos e rios sem qualquer tratamento. Este fato contribui, e muito, para a contaminação das águas superficiais.

Serão apresentados a seguir os níveis e tipos de tratamentos empregados nas ETEs.

a) Tratamento preliminar

O objetivo deste tratamento é a remoção de sólidos grosseiros e areia. Um esquema do tratamento preliminar é apresentado na figura 3.2. O esgoto bruto atravessa grades de diversos tamanhos, que retêm os materiais presentes, como latas, papelão, estopas e trapos. Na seqüência, uma caixa faz a remoção da areia contida no esgoto. O mecanismo de remoção da areia é o de sedimentação: os grãos de areia, devido às suas maiores dimensões e densidade, vão para o fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica, de sedimentação bem mais lenta, permanece em suspensão, seguindo para as unidades seguintes.

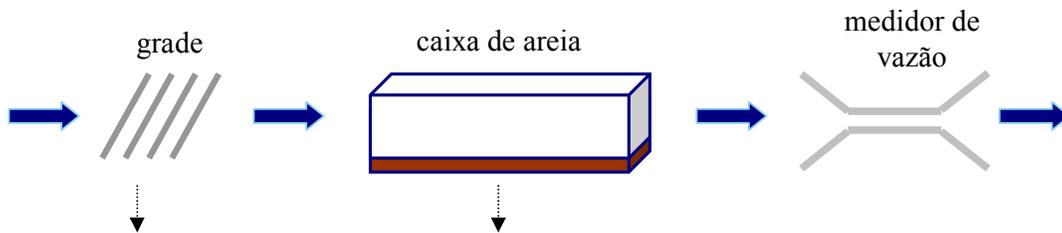


Figura 3.2. Esquema de um sistema para tratamento preliminar de esgotos. Adaptado de Von Sperling, 1996.

b) Tratamento primário

O objetivo desta etapa é a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis, materiais flutuantes (óleos e graxas) e parte da matéria orgânica em suspensão (Figura 3.3). Os esgotos fluem vagarosamente através dos decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão, que apresentam densidade maior do que a do líquido circundante, sedimentem gradualmente no fundo. Essa massa de sólidos, denominada lodo primário bruto, pode ser adensada no poço de lodo do decantador e ser enviada diretamente para a digestão ou ser enviada para os adensadores. Uma parte significativa destes sólidos em suspensão é compreendida pela matéria orgânica.

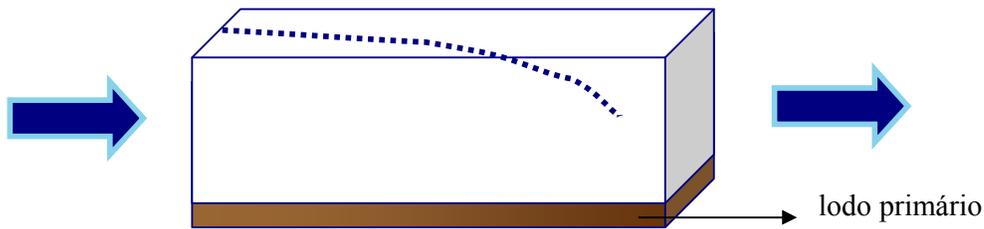


Figura 3.3. Esquema de um decantador primário utilizado no tratamento de efluentes domésticos

c) Tratamento secundário

O objetivo desta etapa é a remoção de matéria orgânica dissolvida e da matéria orgânica em suspensão não removida no tratamento primário. Normalmente, essa remoção se dá por degradação biológica e existem vários processos que são empregados no tratamento secundário. Nos processos que empregam microorganismos aeróbicos, pode-se representar a reação de degradação da seguinte forma:



Existem sistemas anaeróbios também, onde são gerados outros gases como metano e gás sulfídrico.

Alguns dos sistemas mais empregados no tratamento secundário serão apresentados a seguir, assim como suas vantagens e desvantagens.

Lagoas de estabilização – lagoas construídas com a finalidade de tratar esgotos.

Podem ser de diferentes tipos:

- Lagoas facultativas (Figura 3.4): é o processo de tratamento mais simples, pois depende de fenômenos puramente naturais e não requer energia. Por outro lado, para uma eficiência de remoção adequada, o tempo de retenção do esgoto na lagoa é de vários dias. Conseqüentemente, para se tratar o esgoto gerado por 1 habitante é requerida uma área média de 3 m². Desta forma, este tipo de tratamento é adequado apenas para pequenas comunidades.

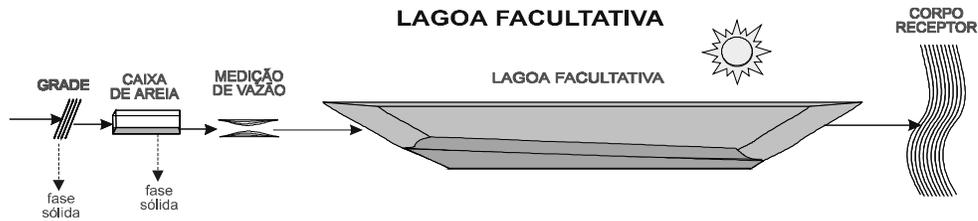


Figura 3.4. Esquema de uma Lagoa Facultativa. Adaptado de Von Sperling, 1996.

Você Sabia?

Nas lagoas facultativas existe um equilíbrio entre a atividade das bactérias e das algas. Na respiração as bactérias consomem O_2 e produzem CO_2 , que por sua vez é consumido pelas algas no processo de fotossíntese, produzindo então O_2 .

- Lagoas anaeróbicas – lagoas facultativas (Figura 3.5): esse sistema é formado pela junção de duas lagoas. Na lagoa anaeróbica, que é mais profunda e portanto tem baixa penetração de luz, a fotossíntese quase não ocorre. Desta forma o consumo de O_2 é maior que a produção de O_2 . Como falta O_2 , o mecanismo anaeróbio predomina. As bactérias anaeróbicas têm taxa metabólica e de reprodução mais lenta que aeróbicas. A permanência do esgoto é de 3 a 5 dias, com decomposição parcial da matéria orgânica (50-60%). A lagoa facultativa recebe apenas uma carga de 40 a 50% da matéria orgânica e por isso pode ter dimensões menores. A eficiência é um pouco superior ao primeiro sistema e a área total requerida é menor.

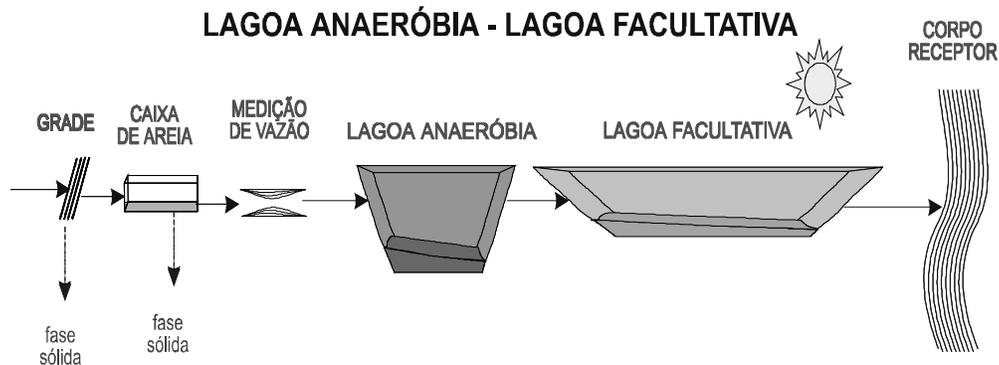


Figura 3.5. Esquema de uma Lagoa Anaeróbia-Lagoa Facultativa. Adaptado de Von Sperling, 1996

- Lagoas aeradas facultativas (Figura 3.6): este sistema é predominantemente aeróbio, com dimensões reduzidas. A degradação se dá de forma mais rápida, pois há o fornecimento de O_2 por meio de aeradores. Conseqüentemente há consumo de energia e um nível operacional mais elevado, o que aumenta os custos. O tempo de detenção do esgoto na lagoa é menor (5 a 10 dias).

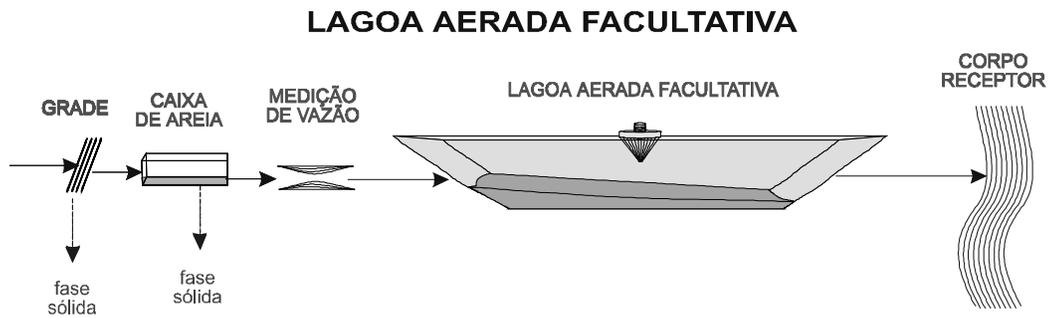


Figura 3.6. Esquema de uma Lagoa Aerada Facultativa. Adaptado de Von Sperling, 1996

- Lagoas aeradas de mistura completa – lagoas de decantação (Figura 3.7): esse sistema possui um maior nível de aeração e a turbulência mantém os sólidos em suspensão, melhorando o contato entre os microorganismos e a matéria orgânica. A grande quantidade de O_2 dissolvido aumenta a velocidade de degradação com maior taxa de crescimento das bactérias. A maior concentração de microorganismos melhora a eficiência do processo e reduz o tempo de detenção (2 a 4 dias). Assim, apesar de consumir energia, requer uma pequena área para construção. Outro ponto a se destacar é que se por um lado uma maior concentração de bactérias é bom, por outro se gera uma grande quantidade de lodo, o que requer um tratamento posterior. Como na lagoa aerada tudo fica em suspensão, é necessário se acrescentar uma lagoa de decantação subsequente para permitir a sedimentação e acúmulo de sólidos (biomassa).

LAGOA AERADA DE MISTURA COMPLETA - LAGOA DE DECANTAÇÃO

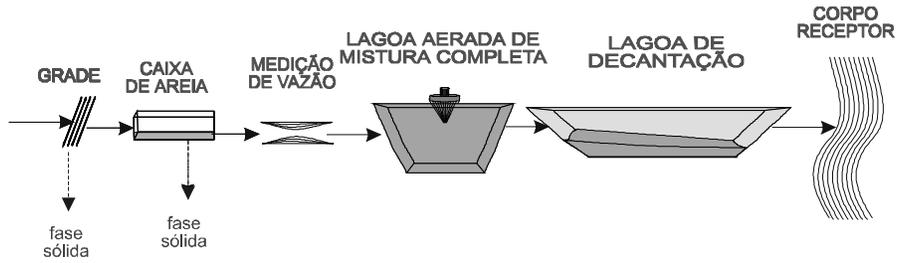


Figura 3.7. Esquema de uma Lagoa Aerada Facultativa. Adaptado de Von Sperling, 1996

Sistemas de lodos ativados

- Lodos ativados convencional (Figura 3.8): neste sistema a biomassa é recirculada do fundo de unidade de decantação, por meio de bombeamento, para a unidade de aeração. A eficiência do sistema é elevada e o tempo de detenção é curto (6 a 8 horas), conseqüentemente o volume do tanque de aeração é reduzido. A maior eficiência do sistema também se deve ao elevado tempo de retenção da biomassa (4 a 10 dias), sendo que o lodo excedente é retirado para manter o equilíbrio no tanque de aeração. Normalmente este sistema está associado com um sistema de tratamento primário, visando a economia de energia. No decantador primário é removida parte da matéria orgânica, minimizando assim os custos gerais do tratamento.

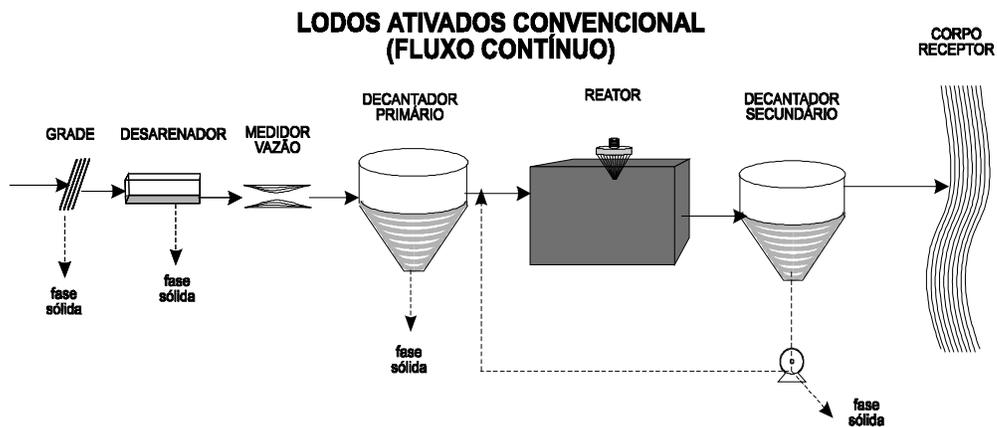


Figura 3.8. Esquema de um Sistema de Lodos Ativados Convencional. Adaptado de Von Sperling, 1996.

- Lodos ativados com aeração prolongada (Figura 3.9): neste sistema o tempo de detenção da biomassa é de 20 a 30 dias, o que suficiente para que ocorra a estabilização dentro do próprio reator. Desta forma não é necessário retirar o lodo excedente e não há decantadores primários e nem unidades de digestão do lodo, simplificando assim o sistema. Em contrapartida, o tempo de retenção do esgoto é maior (16 a 24 horas) se comparado ao sistema de lodo ativado convencional e por isso o reator deve ser maior.

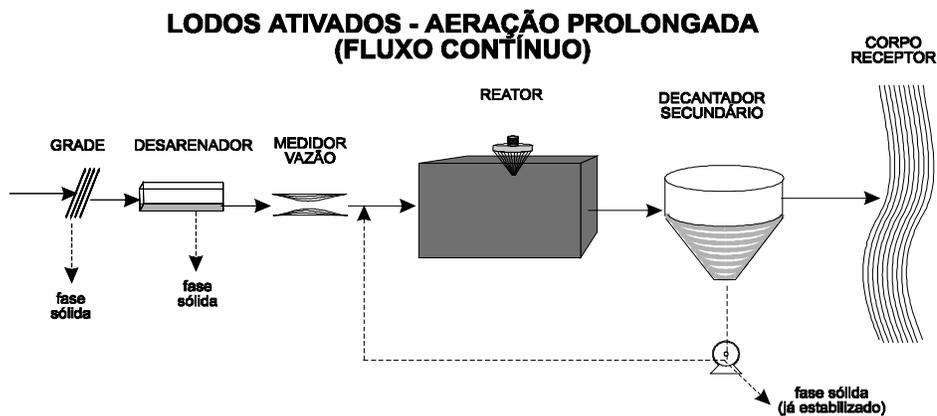


Figura 3.9. Esquema de um Sistema de Lodos Ativados com Aeração Prolongada. Adaptado de Von Sperling, 1996.

- Lodos Ativados com Fluxo intermitente (Figura 3.10): Neste sistema, todas as etapas (decantação primária, oxidação biológica e decantação secundária) ocorrem em um único tanque, de forma seqüencial. São estabelecidos ciclos de operação com durações definidas: i) enchimento (esgoto bruto ou decantado no reator); ii) reação (aeração/ mistura da massa líquida); iii) sedimentação (separação dos sólidos); iv) esvaziamento (retirada do esgoto tratado) e v) repouso (remoção de lodo excedente). Esse sistema é bastante simplificado, mas é claro que para cumprir todas as etapas seqüencialmente, o tempo requerido é maior.

LODOS ATIVADOS - FLUXO INTERMITENTE

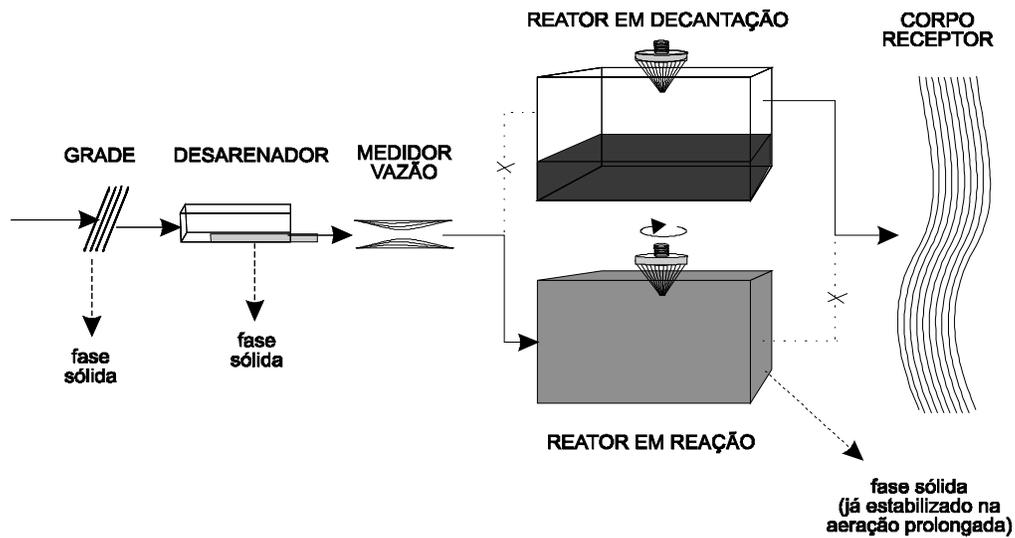


Figura 3.10. Esquema de um Sistema de Lodos Ativos com Fluxo Intermitente. Adaptado de Von Sperling, 1996.

Tratamento Anaeróbio

- Sistema de fossa séptica-filtro anaeróbio (Figura 3.11): esse sistema é muito utilizado no meio rural e em pequenas comunidades. A fossa remove a maior parte dos sólidos em suspensão que se sedimentam e sofrem o processo de digestão anaeróbia. A matéria orgânica que ainda fica no efluente é removida no filtro anaeróbio. Neste filtro, a biomassa cresce aderida a um suporte (pedras, britas, bolas plásticas, etc). O efluente é bombeado em fluxo ascendente e os espaços vazios são preenchidos com líquidos. O filtro é uma unidade fechada e como não há presença de oxigênio, o processo também é anaeróbio. Desta forma, a produção de lodo é menor (nos processos anaeróbios o crescimento dos microorganismos é mais lento), mas a eficiência é inferior à dos processos aeróbios.

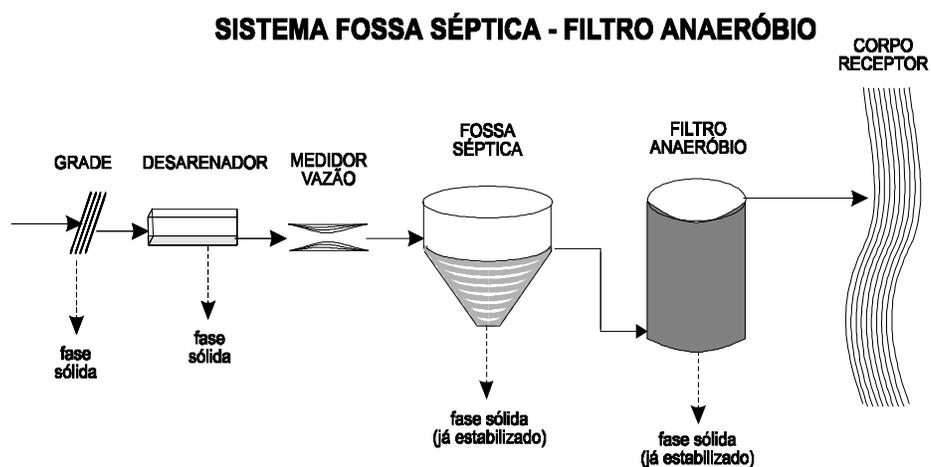


Figura 3.11. Esquema de um Sistema Fossa Séptica-Filtro Anaeróbio. Adaptado de Von Sperling, 1996.

- Reator anaeróbio de Manta de Lodo (Figura 3.12): Neste sistema a biomassa cresce dispersa no meio e não sobre um suporte. Normalmente a concentração de biomassa é elevada e, portanto um reator pequeno é requerido. O fluxo para enchimento do reator é ascendente, como no sistema anterior, mas neste caso os gases formados (principalmente metano) são separados e coletados. Muitas ETEs reaproveitam estes gases para produção de energia. A eficiência do sistema é semelhante à fossa séptica-filtro anaeróbio.

REATOR ANAERÓBIO DE MANTA DE LODO

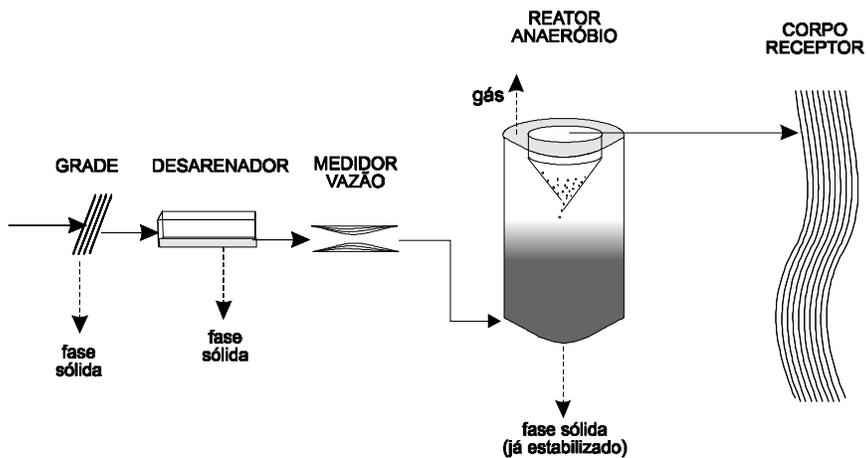


Figura 3.12. Esquema de um Sistema de Reator Anaeróbio de Manta de Lodo. Adaptado de Von Sperling, 1996.

Tratamento do lodo

A maior parte dos sistemas gera lodo em maior ou menor quantidade. Esse lodo precisa ser tratado antes de ser disposto em aterros sanitários ou utilizado como fertilizante na agricultura. Esse tratamento é realizado nos digestores primários e secundários, que são grandes tanques fechados, onde a ausência de oxigênio transforma o lodo em matéria mineralizada, com baixa carga orgânica e poucas bactérias. Nos digestores ocorre a produção de gás, que pode ser reaproveitado como fonte de energia.

Você Sabia?

- Dentre os produtos de limpeza que mais dificultam o tratamento de efluentes domésticos estão os detergentes sintéticos não biodegradáveis, fabricados a partir do benzeno e do ácido sulfúrico. As bactérias não conseguem atacá-los e quebrá-los em porções menores e, assim, eles permanecem, formando as espumas brancas que podem ser observadas nos rios.
- O despejo de óleos no sistema de esgotos é também muito impactante. Os óleos e graxas causam o entupimento da rede de esgotos; além de não serem degradáveis (não podem ser dissolvidos pela água).

ATIVIDADE 2

Qual a população aproximada da cidade onde você mora? O que é feito com o esgoto doméstico?

Consolidando o conhecimento

- 1) Nesta aula você aprendeu um pouco sobre alguns dos sistemas utilizados para o tratamento de efluentes. Como comentado no texto, além dos sistemas descritos, outros também podem ser empregados para o tratamento de efluentes. Procure na literatura e descreva um tipo de sistema que não foi apresentado neste livro.
- 2) Uma pessoa gera em média 150 L de esgoto por dia. Se você tivesse que escolher um sistema para o tratamento de efluentes de uma cidade com 400.000 habitantes, qual seria? Por quê?

Referências

Borghetti, N. R. B.; Borghetti, J. R.; Rosa Filho, E. F da. **Aqüífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba, 2004.

Rocha, J.C.; Rosa, A.H.; Cardoso, A.A. **Introdução à Química Ambiental**, Editora Bookman, Porto Alegre, 2ª edição, 2009.

Von Sperling, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, Belo Horizonte, 1996.

http://ambientes.ambientebrasil.com.br/saneamento/tratamento_da_agua.html acessado em 05/03/2011.

AULA 4

LITOSFERA

Meta

Conhecer a composição e as características da litosfera.

Objetivos

Com as informações adquiridas nesta aula, é desejável que você seja capaz de:

- Ter conhecimento das terminologias empregadas;
- Conhecer a composição da litosfera;
- Conhecer as principais características da litosfera;
- Identificar os principais tipos de solo presente no Brasil.

Introdução

A litosfera (do [grego](#) "*lithos*" = pedra) é a camada sólida mais externa do [planeta](#), constituída por [rochas](#) e [solo](#). No caso da [Terra](#) é denominada como [crosta terrestre](#). É um dos três grandes ambientes físicos da Terra, ao lado da [hidrosfera](#) e da [atmosfera](#), que, na sua relação enquanto suportes de [vida](#), constituem a [biosfera](#).

A litosfera é composta pelas [rochas ígneas](#), [sedimentares](#) e [metamórficas](#). Nas regiões continentais (crosta continental) é constituída principalmente por rochas [graníticas](#), ricas em [alumínio](#) e [silício](#). Nas áreas oceânicas (crosta oceânica) predominam as rochas [basálticas](#), compostas por minerais ricos em silício e magnésio.

A estrutura da litosfera vem-se alterando através dos tempos, seja pela ação de agentes externos (meteorismiodermoplastia, erosdemorsplatia , antropismoplastia), seja pela atuação de agentes internos, como falhas e dobramentos, que conduzem à formação de montanhas ou [vulcanismos](#).

Algumas vezes, para entendimento didático, trabalhamos com os grandes ambientes de forma compartimentalizada, porém, temos que ter em mente que o planeta é um ambiente dinâmico, onde ocorre troca de energia e matéria entre os reservatórios.

Nesta aula vamos aprender um pouco sobre a origem, formação, constituição e características da litosfera. Esperamos que as informações disponibilizadas possam ajudá-los a compreender a importância de preservarmos o solo do nosso planeta.

Recapitulando:

A litosfera é constituída por três tipos de rochas:

Rochas magmáticas ou rochas ígneas: formam-se da consolidação do magma. Quando formadas em profundidade, são chamadas de intrusivas ou de plutônicas. Os granitos são exemplos desse tipo de rocha.

Rochas sedimentares: Formadas por deposição de detritos, originados da ação erosiva de outra rocha.

Rochas metamórficas: Formadas por rochas magmáticas e sedimentares que sofreram alterações.

Origem e formação da litosfera

Algumas hipóteses já foram formuladas para explicar a formação do nosso planeta. Durante os séculos XVII e XVIII, o conhecimento sobre a formação do planeta avançou, porém ainda no final do século XVIII acreditava-se que o seu interior era constituído por túneis, conectados entre si a câmaras preenchidas com materiais expelidos pelos vulcões. No início do século XIX, com a perfuração profunda de minas e poços, ficou comprovado que ocorre um aumento significativo da temperatura com a profundidade. Lord Kelvin (1824-1907), físico conceituado da época, utilizou a taxa de aumento da temperatura com a profundidade, observada em minas, para supor que a Terra formou-se pelo resfriamento de uma massa em fusão. Ele estimou que o tempo necessário para atingir a temperatura atual deveria ser no máximo de cerca de 100 milhões de anos. Essa idade foi contestada por cientistas da época, pois eles consideravam muito pequena para explicar a evolução dos seres vivos e dos estratos geológicos. A descoberta da radioatividade, em 1896, por Henri Becquerel promoveu progressos no que se refere ao conhecimento da idade da Terra. Em 1903, o casal Pierre e

Marie Curie mostrou que no processo de decaimento radioativo há geração de calor. Portanto, a idade obtida por Kelvin necessitava ser revista, pois ele não considerou esse fator em seus cálculos. No século XX ocorreu uma grande revolução sobre a origem, constituição e evolução do nosso planeta. A datação radiométrica é o método utilizado atualmente para a determinação da idade das rochas e, através dele, sabemos hoje que a Terra possui cerca de 5 bilhões de anos.

Determinações geofísicas permitiram verificar que a Terra não é internamente homogênea, tanto sob o ponto de vista composicional, como também quanto ao estado físico, sendo composta essencialmente por quatro camadas esféricas e concêntricas. Os dados geofísicos, principalmente os obtidos através da sismologia, mostram que a Terra possui um núcleo interno com raio de 1.250 km composto por um material de alta densidade ($12,6$ a $13,0$ g/cm^3) no estado sólido, o qual é envolto por uma outra camada, denominada de núcleo externo, constituída por um material com densidade um pouco menor ($9,9$ a $12,2$ g/cm^3) e com 2.200 km de espessura, cujo estado é líquido. O manto é a camada que envolve o núcleo, seu estado é sólido, sua espessura é de cerca de 2.900 km e sua densidade é bem menor que a do núcleo, variando de $3,5$ a $5,5$ g/cm^3 . A crosta é a camada sólida superficial e a mais conhecida da Terra, possui densidade de cerca de $2,7$ a $2,9$ g/cm^3 e espessura em torno de 6 km em áreas oceânicas e de 35 km em áreas continentais, podendo atingir valores de até 80 km sob cadeias montanhosas, como por exemplo nos Andes e no Himalaia. A figura 1 ilustra as camadas geológicas que compõem o nosso planeta.

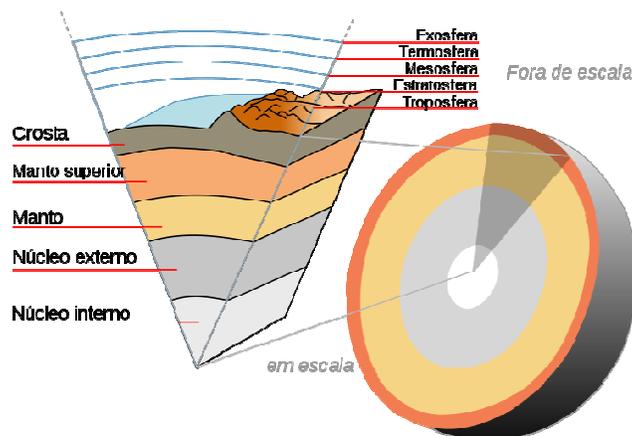


Figura 1. Camadas geológicas da Terra (fonte: <http://www.sogeografia.com.br/>)

No início, nosso planeta era uma bola de minerais fundidos e incandescentes como a lava dos vulcões. Em seguida, iniciou-se um lento processo de resfriamento dessa massa incandescente, com formação das primeiras rochas e da atmosfera, sendo esta decorrente da aglomeração de gases ao redor do planeta. Submetida a uma pressão atmosférica 300 vezes maior que a atual, a água passou para o estado líquido, acumulou-se em determinadas regiões e iniciou o ciclo de precipitação, evaporação, formação de nuvens e novas precipitações, que ocorrem até hoje.

A atmosfera daquela época era bastante corrosiva, em função de erupções vulcânicas, que lançavam gás carbônico, enxofre e cloro. Esses compostos transformavam-se respectivamente em ácido carbônico, sulfúrico e clorídrico, extremamente corrosivos. Em contato com as águas da chuva, transformavam-se em líquidos extremamente corrosivos. Assim, ao mesmo tempo que as águas das chuvas causavam o resfriamento das rochas superficiais, causavam também um processo de desgaste e desagregação, em função do ataque químico. Esses processos, auxiliados pelas altíssimas temperaturas do dia e pelo forte frio da noite, levaram à quebra das rochas em pedaços de diferentes granulometrias, originando as pedras, cascalhos, areia e argila.

Rochas sedimentares formadas no fundo do oceano vieram à superfície e sedimentos que estavam na superfície, inclusive formando solos férteis, afundaram em consequência de movimentos tectônicos, sendo cobertos posteriormente, por novas rochas sedimentares ou mesmo vulcânicas. Esse processo originou grandes depósitos de plantas e microorganismos fossilizados, constituindo jazidas de carvão e de petróleo.

O solo pode ser representado como um ciclo natural composto por fragmentos de rochas, minerais, água, ar, seres vivos e seus detritos em decomposição. Ele é resultado das interações da litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera.

Você Sabia?

Pedologia é a ciência que estuda a datação de solos e a Paleopedologia é o estudo de solos antigos, tendo por objeto solos soterrados e/ou incorporados a sequências sedimentares, ou ainda solos desenvolvidos em superfícies de relevo pretéritas.

Atividade 1

Fósseis são encontrados em rochas sedimentares. Que tipo de informação eles podem nos fornecer?

Composição dos solos

Os solos são compostos por três fases: sólida, líquida e gasosa. Em geral, na composição volumétrica que apresenta boas condições para plantio, verificam-se 50% da fase sólida (45% de origem mineral e 5% de orgânica), 25% de fase líquida e 25% de fase gasosa.

A fase mineral da fase sólida é decorrente da desagregação física de rochas, possuindo, em geral, a mesma composição química da rocha-mãe. Os componentes minerais do solo podem ser divididos em:

- minerais primários: quartzo, apatitas, mica, calcários, biotitas e plagioclásios;
- minerais secundários: caulinita, haloisita, montmorilonita, vermiculita e ilita;
- fração argila: minerais com diâmetros menores do que 0,002 mm. Constituem uma reserva de nutrientes para as plantas.

A fase orgânica é proveniente de plantas e animais mortos, além de produtos intermediários de sua degradação biológica, como bactérias e fungos. O material orgânico é de fácil decomposição, gerando gás carbônico, água e sais minerais. O húmus é a principal fração orgânica do solo. Apresenta coloração marrom escuro a preta e é formada pela decomposição biológica dos resíduos. Podemos considerar que, no solo, todo húmus é matéria orgânica, mas nem toda matéria orgânica é húmus.

A fase líquida é constituída pela solução do solo. Uma solução do solo pode ser definida como uma solução de eletrólitos quase em equilíbrio, que ocorre no solo em condições de não saturação de umidade. Isso porque, a água do solo contém materiais orgânicos e inorgânicos, dissolvidos da fase sólida do solo. O solo é a principal fonte de água e nutrientes para as plantas. Porém, nem toda água que chega ao solo fica disponível para as plantas, pois podem ocorrer processos de deposição nos lençóis freáticos, processo de evaporação, ou ainda processos de escoamento, levando as águas

em direção aos vales e rios, carregando grandes quantidades de sedimentos e elementos nutritivos. Esse fenômeno natural é chamado de erosão. Em solos argilosos essa infiltração é mais lenta e ocorre maior armazenamento de água do que em solos arenosos. Os principais constituintes da solução dos solo são os íons: H^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , e outros.

A fase gasosa do solo, qualitativamente, apresenta os mesmos constituintes do ar atmosférico. Entretanto, do ponto de vista quantitativo pode haver grandes diferenças, conforme apresentado no quadro 1.

Quadro 1. Composição média dos principais componentes gasosos no ar atmosférico e no solo.

Componentes (%)			
Ar	O ₂	CO ₂	N ₂
Atmosférico	21	0,03	72
No solo	19	0,9	79

[Fonte: Rocha, J.C., Rosa, A.H., Cardoso, A.A., Introdução à Química Ambiental, 2ª edição (adaptado de Malavolta-1976)]

Em função da respiração das raízes e dos microorganismos, da decomposição da matéria orgânica e das reações ocorridas no solo, ocorre consumo de oxigênio e liberação de dióxido de carbono. Isso produz alterações nos fluxos entre os compartimentos do solo, fazendo com que a composição de ar no solo não seja fixa. A renovação do ar do solo é causada pela água ou pelas trocas com o ar atmosférico. Solos bem arejados garantem bom desenvolvimento radicular. Solos com textura grossa ou fina, mas bem estruturados, apresentam boa aeração, porém, solos cinzentos indicam baixa aeração.



Figura 2. Ilustração de um processo de erosão em um solo. (Fonte: Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, 5, 2003).

Atividade 2

Você saberia enumerar pelo menos dois fatores antropogênicos responsáveis pelo aumento da erosão dos solos?

Classificação dos solos

Atualmente, o sistema mundial de classificação de solos está baseado nas características e nos fatores que levaram à formação do solo, denominado genético-natural. No Brasil, são usados os princípios básicos descritos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 1999).

A classificação é essencial para organizar os nossos conhecimentos, proporcionando uma visão global e sistemática dos objetos classificados. A ciência do solo, uma disciplina relativamente nova, sente a falta de um sistema taxonômico internacionalmente aceito. Muitos fatores são responsáveis pela larga variedade de esquemas de classificação, mas tal proliferação é talvez devida, em parte, a propriedades peculiares dos solos em cada região, os quais existem como sistemas multidimensionais no espaço e no tempo.

Nomenclatura das legendas de solos

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, desenvolvido pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS), órgão da EMBRAPA, classifica os solos por seus horizontes e atributos diagnósticos, sendo que a denominação desses solos visa, além de agrupar indivíduos semelhantes, fornecer informações relativas à sua utilização. O sistema atual de classificação taxonômica dos solos, normalmente obedece a seguinte ordenação:

Exemplo: Latossolo Vermelho Eutroférico típico A moderado textura média fase floresta tropical subcaducifólia relevo suave ondulado.

1º Nível (Ordem) - Latossolo

2º Nível (Subordem) – Vermelho

3º Nível (Grande Grupo) – Eutroférico

4º Nível (Subgrupo) - típico

5º Nível (Família) – A moderado

6º Nível (Série) – textura média

7º Nível (Fases) - floresta tropical subcaducifólia relevo suave ondulado

Outras fases podem ainda ser classificadas como:

- vegetação
- relevo
- pedregosidade
- rochoso
- erodida
- substrato rochoso

O quadro 2 apresenta as características dos principais solos encontrados no Estado de São Paulo.

Quadro 2. Limites de variação dos constituintes de alguns solos do Estado de São Paulo.

	pH	C (%)	N (%)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺
Solos				Equiv. mg trocável / 100 g de terra			
Latossolos	4,0-6,1	0,42-4,08	0,03-0,38	0,04-0,77	0,17-6,25	0,10-2,42	2,58-9,49

Argissolos (Podzólicos)	4,1-7,6	0,28-2,51	0,03-0,21	0,03-0,50	0,63-22,19	0,11-2,46	1,05-5,16
Gleissolos (Hidromórficos)	3,8-5,6	0,82-3,31	0,06-0,29	0,04-0,07	0,76-1,16	0,60-0,77	4,61-6,23
Neossolos (Litossolos)	4,3-5,1	1,15-3,12	0,18-0,41	0,20-0,78	0,79-27,17	1,18-8,42	0,00-6,27
Neossolos regolíticos (Regossolos)	4,5-5,3	0,33-0,93	0,03-0,07	0,02-0,06	0,14-1,56	0,02-0,44	1,25-1,42

[Fonte: Rocha, J.C., Rosa, A.H., Cardoso, A.A., Introdução à Química Ambiental, 2ª edição (adaptado de Malavolta-1976)]

Os latossolos constituem o grupamento de solos de maior expressão geográfica no território brasileiro. Caulinita, gibbsita, goethita e hematita, em diferentes proporções, são os principais minerais da fração argila dos latossolos brasileiros. Os latossolos são subdivididos em diferentes tipos, cada um deles com suas peculiaridades: Latossolo Ferrífero, Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo, Latossolo Bruno, Latossolo Variação Una, Latossolo Húmico, Latossolo Pálido.

Solos argilosos são formados sob processo de lavagens ácidas sobre material de origem arenosa, em regiões úmidas e florestadas. Os gleissolos são formados sob excesso de água em condições de aeração deficiente. Geralmente, são solos ácidos e possuem acúmulo de matéria orgânica nas camadas superficiais. Já os neossolos são solos jovens, pouco desenvolvidos e de pequena espessura. Finalmente, os neossolos regolíticos se caracterizam por serem solos profundos, ainda que em início de formação arenosa, e, portanto, com drenagem excessiva.

Os solos não são formados apenas por uma única camada. Também, não apresenta composição homogênea. Em geral, suas características variam com a profundidade, por causa da maneira que se formou ou depositou, em razão das diferenças de temperatura, teor de água, concentração de gases e movimento descendente de solutos e de partículas. O perfil do solo é estabelecido por horizontes, que se diferenciam por espessura, cor, distribuição e arranjo das partículas sólidas e poros, textura, dentre outras características. Os horizontes são designados por letras maiúsculas e são apresentados na figura 3.

Características das camadas no perfil do solo

(O) Horizonte orgânico com matéria orgânica recente, em decomposição.

(A1, A2 e A3) Camada onde ocorre a decomposição da matéria orgânica, formando húmus, fibra, e outros produtos da decomposição. Toda essa matéria em decomposição libera minerais os quais são absorvidos pelas raízes ou levados pela água para a camada inferior.

(B) Camada rica em argila, carbonatos e outros minerais. Formada pela água das chuvas que se infiltra.

(C) Pedras e seixos que fazem parte da rocha localizada abaixo do solo, que foram trazidos por algum rio de tempos passados.

Rochas: De a serem de sedimentos do solo.

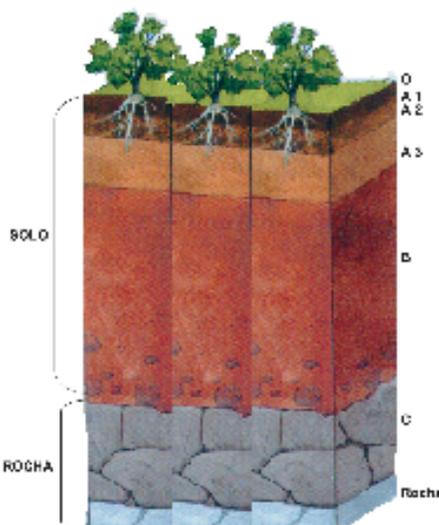


Figura 3. Camadas de um perfil genérico de solo (Fonte: Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, 5, 2003)

Atividade 3

Identifique as principais características dos latossolos e destaque uma propriedade peculiar a cada um dos tipos apresentados acima. Para auxiliá-lo nessa atividade, consulte a referência Latossolos do Brasil: uma revisão, Geonomos, 5(1):17-40.

Propriedades físico-químicas dos solos

As propriedades físico-químicas dos solos se devem, principalmente, à elevada superfície específica e à alta reatividade apresentada pelos componentes da fração argila.

A principal característica física do solo é a textura, que diz respeito às dimensões e características das partículas primárias do solo. Essas partículas são agrupadas em função do tamanho, apresentando características comuns.

- Fração Areia: apresenta partículas entre 2 e 0,05mm, sendo constituída quase que essencialmente de quartzo. É responsável pelo aparecimento de macroporos e pela aeração do solo, retendo pouca água e poucos nutrientes.

- Fração Silte: apresenta partículas entre 0,05 e 0,002mm, sendo constituída em sua maior parte por quartzo. Promove o aparecimento de poucos poros, podendo causar adensamento do solo, retendo pouca água e poucos nutrientes.
- Fração Argila: apresenta partículas menores que 0,002mm. Constituída em sua maior parte por minerais de argila, promove a estruturação do solo, fazendo com que ocorra o aparecimento de um alto volume de poros, principalmente de microporos, retendo muita água e muitos nutrientes.

As principais características químicas do solo estão relacionadas com o uso do solo e o desenvolvimento das plantas. Abaixo são apresentadas as principais análises realizadas com as amostras de solos. Na análise química de solo, determina-se: pH (em água, KCl e CaCl_2), matéria orgânica (%), hidrogênio (H), alumínio (Al), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m). Abaixo, uma breve explicação de cada um dos itens:

- pH: mede a acidez do solo (valores < 7 são característicos de solos ácidos, > 7 característicos de solos básicos e igual a 7 indica solos neutros).
- Matéria orgânica: indica a porcentagem de matéria orgânica coloidal que ocorre no solo. Valores acima de 30% indicam solo orgânico.
- Hidrogênio: determina a acidez do solo. Quanto maior a concentração de hidrogênio, menor o pH, e portanto, maior a acidez do solo. Definida como a *fração titulável*.
- Alumínio: solúvel em meio ácido, ocorre quando o solo está com acidez elevada, e é tóxico para as plantas. Definido como *fração trocável*.
- Cálcio, Magnésio, Potássio e Fósforo: macronutrientes para as plantas. Podem ser determinados por técnicas espectrométricas e as concentrações são expressas em meq/100g (Ca, Mg, K) e em ppm (P).
- Soma de bases (S): representa a soma das bases presentes, ou seja, a soma dos teores de cálcio, magnésio e potássio.
- Capacidade de troca catiônica (CTC): é definida como a quantidade de cátions adsorvidos reversivelmente por unidade de massa de material seco e expressa a capacidade do solo de trocar cátions. A quantidade é fornecida pelo número de

cargas positivas [soma de bases, hidrogênio e alumínio (S + H + Al)] pela massa de solo seca (mmol/100g).

AULA 5

CONTAMINANTES EM SOLOS

Meta

Identificar as principais fontes de contaminação dos solos.

Objetivos

Com as informações adquiridas nesta aula, é desejável que você seja capaz de:

- Identificar os principais contaminantes inorgânicos no solo;
- Identificar os principais contaminantes orgânicos no solo;
- Reconhecer estratégias de remediação para solos contaminados.

Introdução

O solo é a camada superficial da terra, formada por componentes inorgânicos e orgânicos, sendo de fundamental importância para o crescimento de plantas e para a subsistência humana.

No capítulo anterior vimos que o solo é constituído por três fases: sólida, líquida e gasosa. Os componentes inorgânicos constituem a principal fração sólida da maioria dos solos. Seu aporte varia de 99,5% na superfície de solos de regiões muito secas a menos de 10%, em solos orgânicos, derivados de pântanos. Os componentes inorgânicos representam a parte menos variável do solo, ainda que sofram pequenas alterações ao longo dos anos. Além da parte sólida, compõem o solo uma fase líquida, constituída de água acrescida de minerais e compostos orgânicos dissolvidos e uma fase gasosa que preenche os espaços porosos.

No solo são depositados todos os compostos inorgânicos e estruturas animais e vegetais, que serão degradados ao longo dos anos. Assim, torna-se possível interpretar o desenvolvimento histórico desse ambiente e de seu entorno.

A acumulação de poluentes depende da composição do solo. A fração mineral do solo pode interagir com os contaminantes por atração eletrostática e por adsorção, enquanto que a fração orgânica é capaz de imobilizá-los por complexação. A

capacidade de retenção de metais nos solos aumenta nas frações mais finas. Por isso, a maioria dos trabalhos científicos realizados para avaliação de contaminantes inorgânicos em amostras de solos são realizados com frações menores do que 2 mm.

A ação antrópica, impulsionada pela diversificação de atividades econômicas e o adensamento populacional de forma desordenada vêm ocasionando crescentes problemas sobre os recursos naturais, principalmente o solo. Um aspecto crucial relacionando com a degradação dos solos é a introdução de metais e compostos orgânicos tóxicos, que são lançados pela atividade mineradora, utilização de adubos e fertilizantes e também através de efluentes domésticos e industriais, na maioria dos casos sem tratamento prévio.

Fertilidade dos solos e sua utilização pelo homem

O conceito de fertilidade do solo está relacionado aos vários fluxos de matéria e energia no ambiente. Para que uma planta se desenvolva, ela absorve do solo macro e micronutrientes. Portanto, os vegetais se desenvolvem em diferentes ambientes à medida que encontram no solo os elementos que lhes são indispensáveis. Além dos micro e macronutrientes, o hidrogênio, carbono, oxigênio e nitrogênio são de fundamental importância para o fluxo de matéria e energia no ambiente.

Mesmo em solos férteis, os elementos essenciais aos vegetais não são inesgotáveis. Por isso, mesmo após sua utilização pelas plantas, os diferentes elementos participam de ciclos biogeoquímicos, voltando ao solo (e/ou atmosfera e hidrosfera), para que o solo se mantenha fértil e a vida vegetal tenha continuidade.

Participam do ciclo biogeoquímico vários micro organismos decompositores, os quais habitam o solo e são essenciais para o processo de fertilização. Após a decomposição de vegetais e animais mortos ou seus excrementos, forma-se uma matéria gelatinosa, de coloração amarelo-castanha, que se denomina húmus.

Você sabia?

Húmus é a [matéria orgânica](#) depositada no [solo](#), resultante da [decomposição](#) de [animais](#) e [plantas](#) mortas, ou de seus subprodutos (Figura 1). A [compostagem](#) é uma forma de "fabricar" húmus para utilizar como *composto*, ou seja, [fertilizante](#) orgânico na [agricultura](#).



Figura 1. Húmus formado espontaneamente e húmus formado pelo excremento de minhocas (Fonte: <http://www.google.com.br/search?q=h%C3%BAmus&hl=pt-BR&biw=1280&bih=686&prmd=ivns&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=2t-hTeebFoaAhAeavMzwBA&ved=0CEgQsAQ>, acessada em 10/04/2011)

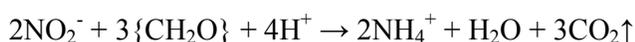
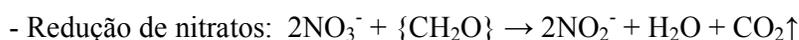
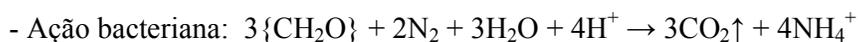
O processo de formação do húmus é chamado humificação e pode ser natural, quando produzido espontaneamente por bactérias e fungos do solo (os organismos decompositores), ou artificial, quando o homem induz a produção de húmus, adicionando produtos químicos e água a um solo pouco produtivo. Vários agentes externos como a humidade e a temperatura contribuem para a humificação. Na formação do húmus há liberação de diversos nutrientes, mas é de especial consideração a liberação de nitrogênio.

Todo organismo necessita de nitrogênio para viver e crescer. Ele é um dos componentes majoritários do DNA, RNA e das proteínas. Apesar da grande quantidade de nitrogênio existente no planeta, apenas 0,02% está disponível para a vida. O restante está na forma de N_2 , incrustado em rochas ou na atmosfera. A difícil quebra da tripla ligação existente entre os átomos da molécula de nitrogênio requer grande quantidade de energia, não o deixando disponível para os organismos.

Para ser utilizado, o nitrogênio precisa estar na forma mais acessível, como na forma do íon amônio (NH_4^+), do íon nitrato (NO_3^-) ou na forma de uréia $(NH_3)_2CO$. Note que o hidrogênio, o oxigênio e o carbono fazem parte desses compostos, aumentando a disponibilidade do nitrogênio para o solo. Algumas das mais importantes

reações químicas mediadas por micro organismos no solo e sistemas aquáticos envolvem compostos nitrogenados. O processo de transformar o gás N₂ em nitrogênio ligado a C, O e H é conhecido como fixação de nitrogênio. Esses processos podem ser naturais ou resultantes de interferência humana.

Os processos naturais de fixação de nitrogênio podem ocorrer por:

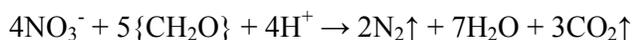


- Raios e vulcões: durante as tempestades, os raios atingem a atmosfera e produzem o óxido de nitrogênio. Estima-se que a produção anual por este processo é da ordem de 3-5 Tg de N por ano. Já os vulcões, atualmente representam uma fonte menor de nitrogênio fixado, pouco menor que 0,02 Tg por ano.

ATIVIDADE 1

O texto acima afirma que os processos de fixação de nitrogênio podem ocorrer de maneira natural ou por ação humana. Descreva sucintamente, dois processos de fixação de nitrogênio resultantes da interferência humana.

No processo de desnitrificação, o nitrogênio fixado retorna à atmosfera como N₂ gasoso.



Assim, o nitrogênio proveniente da biomassa (matéria orgânica) é decomposto na litosfera e hidrosfera. Dessa forma, a atmosfera está recebendo continuamente, nitrogênio de dois outros grandes compartimentos.

Quando o solo apresenta deficiência com relação a alguns minerais, é possível realizar intervenções para torná-lo mais produtivo. Uma das maneiras de realizar essas intervenções é a calagem e a adubação.

A calagem tem como finalidade eliminar prováveis efeitos tóxicos dos elementos que podem ser prejudiciais às plantas, tais como alumínio e manganês, e corrigir os teores de cálcio e magnésio do solo. Para a videira, por exemplo, o pH do solo deve estar próximo de 6,0. Nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, utiliza-se o índice SMP como indicador da necessidade de calagem.

Deve-se dar preferência para o uso do calcário dolomítico (com magnésio), sendo que o mesmo deve ser aplicado no solo, pelo menos, 3 meses antes do plantio, distribuindo-se em toda área. Normalmente, após três a quatro anos da implantação do vinhedo há necessidade de fazer uma nova calagem. O modo de aplicação do calcário é bastante controverso, pois em regiões de ocorrência de fusariose, o corte do sistema radicular pode aumentar a mortalidade de plantas infectadas por *fusarium*, e, em vinhedos sob Litossolos, ocorre afloramento de rochas. Nas duas situações é proibitivo a prática da incorporação do calcário, sendo então necessário a aplicação do calcário na superfície sem a necessidade de incorporação.

A adubação é realizada para suprir as exigências nutricionais do solo quando este apresenta sintomas de deficiência. Abaixo são listados os principais minerais incorporados ao solo pelo processo de adubação, as exigências nutricionais e os principais sintomas de deficiência que o solo apresenta quando da falta desses elementos. As informações abaixo foram retiradas da página eletrônica da Embrapa uva e vinho. Os exemplos estão relacionadas a cultura da uva na região sul do Brasil. (<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvasViniferasRegioesClimaTemperado/solo.htm>).

- **Fósforo** - Solos brasileiros são deficientes em fósforo, com teores médios em torno de 1,0 mg kg⁻¹ (Mehlich 1), tornando necessário a utilização de adubos químicos para suprir a deficiência. Os sintomas de deficiência de fósforo ocorrem em folhas maduras, onde é observado redução do tamanho, tornam-se amareladas, podendo ainda apresentar limbo com manchas avermelhadas. A concentração normal de fósforo nas folhas da videira varia de 0,15 a 0,25%,

sendo que a planta absorve cerca de 1,4 kg de P_2O_5 para produzir 1000 kg de frutos. Apesar dos solos brasileiros serem naturalmente deficientes em fósforo, não se tem observado sintomas de deficiência em plantas.

- **Potássio** - Na grande maioria dos solos brasileiros a concentração de K é considerada baixa, no entanto, os solos da região da Serra Gaúcha apresentam teores de médio a elevado. Por ser um elemento bastante móvel no interior das plantas, os sintomas de deficiência de potássio ocorrem em folhas mais velhas. A concentração normal de potássio nas folhas da videira varia de 1,50 a 2,50 %, sendo que a planta absorve cerca de 6 kg de K_2O para produzir 1000 kg de frutos. Apesar dos solos brasileiros serem naturalmente deficientes em potássio, como no fósforo, também não é comum sintomas de deficiência em plantas. O uso indiscriminado de fertilizantes aumenta a concentração desse elemento no mosto, podendo acarretar problemas enológicos.
- **Nitrogênio** - O teor de matéria orgânica é o indicador de disponibilidade de N no solo mais utilizado, mas este não tem sido muito eficaz na predição do comportamento das plantas, o que tem causado sérios problemas na viticultura, pois tanto o excesso quanto a deficiência de nitrogênio afeta a produtividade e a qualidade dos frutos. Os sintomas de deficiência de nitrogênio se caracterizam pela redução no vigor das plantas e pela clorose (amarelecimento) no limbo das folhas maduras e velhas. A concentração normal de N nas folhas da videira varia de 1,60 a 2,40 %, sendo que a planta absorve cerca de 2 kg de N para produzir 1000 kg de frutos. Apesar dos solos brasileiros serem naturalmente deficientes em nitrogênio, freqüentemente observa-se tanto a falta quanto o excesso de N nos parreirais. Isto indica que os produtores ainda não têm consenso no uso de nitrogênio, principalmente porque há uma relação inversa entre excesso de vigor das plantas e produtividade e/ou qualidade dos frutos, o que leva os produtores a temer uma aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados.
- **Cálcio** - O cálcio é um elemento pouco móvel na planta, por isso os sintomas de deficiência aparecem nas folhas jovens. Essas folhas normalmente são menores do que as normais. Os teores de cálcio considerados normais para a videira variam de 1,6 a 2,4%, sendo que as plantas retiram cerca de 6 kg de CaO para produzir 1000 kg de frutos.
- **Magnésio** - Apesar dos teores de Mg^{2+} da grande maioria dos solos brasileiros serem baixos, ele não tem causado danos a videira, pois, como para o cálcio, a

utilização de calcário dolomítico para aumentar o pH do solo também aumenta o teor de Mg. O magnésio é um elemento móvel na planta, por isso os sintomas de deficiência aparecem nas folhas maduras. Os teores de magnésio considerados normais para a videira varia de 0,25 a 0,50% , sendo que as plantas retiram cerca de 1 kg de MgO para produzir 1000 kg de frutos.

- **Boro** - A grande maioria dos solos do Brasil, cultivados com videira, possuem baixo teor de boro. No estado do RS, freqüentemente tem-se observado sintomas de deficiência de B, sendo que os problemas normalmente aparecem em solos cujo teor é menor do que $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$. A mobilidade do boro nas plantas ainda é muito discutida, principalmente porque os sintomas de deficiência aparecem nas folhas e ramos novos. Os teores de boro considerados normais para a videira variam de 15 a 22 mg dm^{-3} , sendo que as plantas retiram cerca de 10 g de B para produzir 1000 kg de frutos.

Existem três tipos fundamentais de adubação: a de correção, efetuada antes do plantio, a de plantio ou crescimento, realizada na ocasião do plantio do porta-enxerto ou da muda até 2 a 3 anos, e a de manutenção, realizada durante a vida produtiva da planta. A primeira é feita para corrigir a fertilidade do solo para padrões de fertilidade preestabelecido, a segunda é feita para permitir o crescimento inicial das plantas e a terceira feita com o objetivo de repor os elementos absorvidos pela planta durante o ano.

ATIVIDADE 2

- A. Ao longo do texto sobre calagem e adubação, alguns termos podem ter causado dúvidas, como: índice SMP, procedimento Mehlich 1, problemas enológicos. Procure o significado desses termos e de algum outro que não tenha ficado claro.
- B. Todos os macronutrientes apresentados acima apresentam concentrações desejáveis na planta para atingir o máximo de produtividade. Descreva, brevemente, um procedimento analítico para a determinação de nitrogênio em amostras de solo.

Contaminação do solo por agentes inorgânicos

A ocorrência natural de metais pesados em solos depende, principalmente, do material de origem sobre o qual o solo se formou, da composição e da proporção dos componentes de sua fase sólida. A relação do solo com o material de origem é bastante evidenciada quando o primeiro é formado “in situ” sobre a rocha, tornando-se menos expressiva nos solos originados sobre materiais previamente intemperizados. Solos com origem em rochas básicas, naturalmente mais ricas em metais, apresentam maiores teores desses elementos quando comparados àqueles formados sobre granitos, gnaisses, arenitos e siltitos. Além disso, esses solos também apresentam maior potencial de disponibilidade de metais para as plantas, em comparação com os desenvolvidos a partir de gnaiss e arenito + sedimentos do terciário.

Os metais estão distribuídos no ambiente aquático entre as espécies solúveis em água, colóides, material em suspensão e sedimentado. As concentrações dos metais em solos, sedimentos e águas podem ser facilmente alteradas por processos de deposição e remobilização. Estima-se que menos de 1% desses poluentes estão solúveis na água, sendo que a maior parte está armazenada nos solos e sedimentos. Estes compartimentos possuem alta capacidade de adsorção e retenção de contaminantes, sendo considerado um depósito de espécies poluentes.

Segundo Fadigas e colaboradores, no Brasil ainda não foram definidos os níveis de referência de metais pesados para avaliação da contaminação do solo. Eles desenvolveram um extenso trabalho com o objetivo de caracterizar diversos solos brasileiros, em condições naturais, quanto aos teores totais de metais tóxicos, como Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn e correlacionaram algumas propriedades do solo com a ocorrência desses elementos. Para o estudo, foram utilizadas 162 amostras de solo da soloteca da Embrapa Solos (RJ), correspondendo aos horizontes A e B de 81 perfis, das principais classes de solos brasileiros, especialmente os Argissolos (27%) e Latossolos (42%). À exceção do cádmio, as concentrações médias dos metais estudados foram, em geral, inferiores aos valores médios encontrados na literatura internacional, e inferiores aos valores desses metais considerados tóxicos para as plantas. Estabeleceram-se as faixas de concentrações das variáveis de solos nos diversos grupos e uma aproximação

dos teores naturais dos metais pesados para outras amostras de solos com características similares às de cada grupo.

Você sabia?

O **Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS [EMBRAPA](http://www.cnpq.br/embrapa))**, ou simplesmente **Embrapa Solos**, é uma divisão da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. A biblioteca da Embrapa Solos dispõe de um acervo de mais de 30000 itens. Ficou interessado? Visite o site da Embrapa: <http://www.cnpq.br/embrapa>

Os estudos ambientais envolvendo a contaminação de solos por metais tóxicos são de interesse mundial e existem, seguramente, mais de 50000 artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais. Em função dos vários tópicos que podem ser abordados nessa sessão, optou-se por fazer uma discussão de um estudo de caso: a contaminação por mercúrio nos solos de Descoberto, uma cidade do interior de Minas.

O mercúrio é um elemento químico considerado não essencial a qualquer processo metabólico; entretanto, é facilmente acumulado na maioria dos organismos. Ocorre naturalmente em formas orgânicas e inorgânicas, não só no estado sólido ou dissolvido, mas também na fase gasosa. Conseqüentemente, seu ciclo biogeoquímico envolve processos que ocorrem no solo, na água e na atmosfera. Na superfície terrestre, o mercúrio é depositado no solo e em ambientes aquáticos. No solo, o tempo de retenção é longo, resultando em acúmulo desse elemento, o que pode acarretar seu lançamento nas águas, por meio de escoamento superficial e erosão.

A presença de mercúrio no corpo humano pode ocasionar grandes danos à saúde. Devido à sua acumulação progressiva e irreversível, esse elemento fica retido nos tecidos, causando lesões graves, principalmente aos rins, fígado, aparelho digestivo e sistema nervoso central.

No Brasil, a questão da contaminação do meio ambiente é mais preocupante nas áreas de garimpo de ouro, atividade que representa uma das fontes emissoras de mercúrio antrópicas mais impactantes.

Essa atividade, que utiliza mercúrio elementar (líquido) na amalgamação do ouro, ocorre intensamente em vários estados do país e tem sido objeto e motivo de muitos trabalhos de investigação, denúncias e matérias jornalísticas. Em dezembro de 2002, foi encontrado mercúrio elementar no município de Descoberto, na Zona da Mata

do Estado de Minas Gerais, cuja origem parecia estar ligada à exploração de ouro que existiu na região, no século 19. Moradores da área rural, na localidade denominada Serra da Grama, perceberam a presença desse elemento quando foi realizado um corte em um terreno para a abertura de estrada de acesso a uma propriedade particular, que provocou o afloramento do mercúrio em sua forma líquida (Figura 2).



Figura 2. Detalhe do afloramento do mercúrio elementar no solo (Fonte: Tinôco et al., Avaliação de contaminação por mercúrio em Descoberto, MG, 2010).

No solo, foram avaliadas 61 amostras, em que se detectaram os valores mínimo e máximo, respectivamente, de 0,196 e 8825 mg.kg⁻¹, ressaltando-se que 93% (57 amostras) dos resultados superaram o valor de referência local de 0,30 mg.kg⁻¹ estabelecido pela FEAM (2005). As amostras de solo foram retiradas das camadas superficiais (≤ 20 cm), com trado de aço.

Novos afloramentos foram observados ao longo do processo de coleta das amostras na área do afloramento inicial, tendo-se constatado visualmente que o mercúrio estava em um compartimento de cascalho (conduto) que fazia parte do processo de concentração de ouro utilizado durante o período de lavra desse metal (FEAM, 2005).

Outro estudo no local, desenvolvido por outro grupo de pesquisadores, avaliou a especiação e volatilização do mercúrio na região. Os teores encontrados de Hg total para as amostras variaram de $<0,2$ mg g⁻¹ (limite de detecção do método empregado) a 41,0 mg g⁻¹, evidenciando a contaminação mercurial da área estudada. Os resultados mostraram que apenas Hg⁺² foi encontrado nas amostras de solo de Descoberto. Estudos de detalhamento da contaminação mercurial ocorrida no local mostraram que os solos da região interdita são ricos em óxidos de Fe e Al e bem argilosos. Isso explicaria a

baixa mobilidade do Hg em perfis mais profundos e o fato de não se ter encontrado concentrações significativas do metal em águas subterrâneas na área estudada.

Para estudar a possibilidade de volatilização de mercúrio no solo, uma amostra de solo contendo concentração total de Hg igual a $1,3 \pm 0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ foi tratada por aquecimento em diferentes tempos e temperaturas, sob um fluxo de nitrogênio de 526 mL/min como gás de arraste. O mercúrio total restante na amostra após tratamento térmico foi determinado por extração com água régia, geração de hidretos e detecção por Espectrometria de Absorção Atômica. Os resultados mostraram que mesmo em baixas temperaturas ($30 \text{ }^{\circ}\text{C}$) ocorreu a volatilização de mercúrio. Observou-se também que 2 h de aquecimento foram suficientes para eliminar quantidades de mercúrio próximas ao valor de alerta para solo ($0,5 \text{ mg kg}^{-1}$). Considerando que a amostra estudada tem valores de Hg total relativamente baixo quando comparado com outras amostras da região (até 8000 mg kg^{-1}), o mercúrio pode estar sendo lançado no ambiente em maiores quantidades. A volatilização do mercúrio é um risco para o ambiente, uma vez que o Hg^0 pode contaminar o ar atmosférico e as águas superficiais, tornando-se um meio mais fácil de exposição ao homem.

ATIVIDADE 3

Ao discutirmos sobre a contaminação de mercúrio no solo de Descoberto, foram usados termos como concentração total de mercúrio e especiação. Busque informações que o ajudem a compreender melhor esses termos.

Você sabia?

O estado de Minas Gerais possui um órgão que promove e realiza estudos e pesquisas sobre a poluição e qualidade do ar, da água e do solo. Trata-se da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) (<http://www.feam.br/>).

Contaminação do solo por agentes orgânicos

Com a crescente necessidade de aumentar a colheita e melhorar a qualidade dos alimentos foram adotadas nos últimos anos medidas indiscriminadas, sem os devidos

critérios e sem conhecimento da ação e dos efeitos secundários que os pesticidas podem acarretar ao meio ambiente e a qualidade de vida do homem.

O comportamento dos pesticidas no solo pode ser influenciado por alguns fatores tais como: adsorção, movimento e decomposição. A adsorção influencia diretamente a magnitude do efeito de outros fatores como biodegradabilidade, bioacumulação e outros. A adsorção é considerada como sendo um dos principais processos que afetam a interação que ocorre entre o pesticida e a fase sólida do solo. Os principais constituintes que representam a fase sólida no solo são: argila, minerais, matéria orgânica, óxidos e hidróxidos de alumínio e de ferro e a sílica. O movimento dos pesticidas no solo pode ocorrer por lixiviação, escoamento superficial e volatilização. As informações sobre o movimento de pesticidas são úteis para se fazer uma previsão da sua eficácia química. Os processos de decomposição operam um importante desempenho na dissipação de muitos pesticidas no solo. O desaparecimento de um pesticida do solo pode também se dar por vários processos químicos, inclusive fotodecomposição e reações químicas. Os pesticidas estão sujeitos a interações que interferem na sua bioatividade, biodegradação e mobilidade no ambiente. A natureza das interações depende da composição do solo.

Os pesticidas são classificados de acordo com as pragas que eles atacam:

- [Acaricidas](#): para o controle de [ácaros](#).
- [Bactericidas](#): para o controle de [bactérias](#).
- [Fungicidas](#): para o controle de [fungos](#).
- [Herbicidas](#): para o controle de ervas daninhas.
- [Inseticidas](#): para o controle de insetos.
- [Nematicidas](#): para o controle de nematóides (vermes).
- [Rodenticidas](#): para o controle de [ratos](#) e outros tipos de [roedores](#).
- [Moluscicidas](#): para o controle de [moluscos](#).

Eles também podem ser classificados em:

Orgânicos de síntese: carbamatos (nitrogenados), clorados, fosforados e clorofosforados.

Inorgânicos: contendo [arsênio](#), [tálio](#), [bário](#), [nitrogênio](#), [fósforo](#), [cádmio](#), [ferro](#), [selênio](#), [chumbo](#), [cobre](#), [mercúrio](#) e [zinco](#).

Botânicos: à base de [nicotina](#), [piretrina](#), [sabadina](#), [rotenona](#).

Porém, os defensivos químicos empregados no controle de pragas são pouco específicos, destruindo indiferentemente espécies nocivas e úteis ao homem. Outro problema reside no acúmulo ao longo das cadeias alimentares. Assim, por exemplo, as minhocas, alimentando-se de grandes quantidades de folhas mortas e ingerindo partículas do solo, acumulam no seu organismo grandes quantidades de inseticidas clorados; as aves que se alimentam de minhocas, como as galinhas, passam a ingerir altas concentrações de veneno e, por conseqüência, o homem, que se alimenta da carne das aves, ingere esses compostos.

Foram realizados alguns estudos com agricultores com o objetivo de determinar os efeitos nocivos à saúde resultantes do contato com pesticidas. Uma pesquisa em [Bangladesh](#) sugere que muitos agricultores não precisam aplicar o pesticida em suas plantações de [arroz](#), mas continuam a fazer somente porque o pesticida é pago pelo governo. Outros estudos indicaram que a exposição ao pesticida está associada, em longo prazo, com vários problemas de saúde, tais como: dificuldades respiratórias, problemas de [memória](#), problemas na [pele](#), [câncer](#), [depressão](#) e outros.

Devido aos impactos de pesticidas no [meio ambiente](#), é grande o risco de que haja contaminação de alimentos por pesticidas. Nos [Estados Unidos](#), o Departamento de Agricultura (*United States Department of Agriculture*) desenvolveu um programa chamado [Pesticide Data Program](#) que teve como objetivo verificar o índice de alimentos contaminados por pesticidas vendidos em território nacional. Iniciado em [1990](#), o programa coletou dados de aproximadamente 60 tipos diferentes de alimentos e cerca de 400 tipos de pesticidas - a partir de amostras retiradas nos locais de venda. Os primeiros resultados foram divulgados em [2004](#). O Quadro 1 apresenta alguns resultados encontrados para frutas e vegetal.

Quadro 1. Pesticidas em frutas e vegetais (adaptado de <http://pt.wikipedia.org/wiki/Pesticida>)

Fruta	N ^o amostras analisadas	Amostras com resíduos detectados	% de amostras contaminadas	Diferentes pesticidas encontrados	Resíduos diferentes encontrados
Maçã	774	727	98	33	41
Alface	743	657	88	47	57
Pêra	643	643	87	31	35

Além de pesticidas, o solo pode sofrer contaminação por resíduos domésticos, hospitalares e industriais, descartados diariamente nos centros urbanos. O lixo urbano é constituído predominantemente por matéria orgânica e como tal sofre intensa decomposição, permitindo a reciclagem.



Figura 3. Lixo urbano

(Fonte: <http://meioambiente.culturamix.com/blog/wpcontent/uploads/2010/05/20.jpg>, acessada 14/04/2011)

Os resíduos domésticos podem ser descartados sob a forma de lixões (Figura 3), aterros sanitários, compostagem e incineração. No caso dos lixões, o lixo é deixado em terrenos baldios onde fica exposto e é reaproveitado pelos "catadores de lixo" que correm o risco de contrair doenças. Além disso, o lixão provoca proliferação de moscas e outros insetos. Outro inconveniente é o "chorume", líquido que resulta da decomposição do lixo e que polui o solo e os lençóis d'água. O aterro sanitário é um modo barato de eliminar resíduos, mas depende da existência de locais adequados. Esse método consiste em armazenar resíduos, dispostos em camadas, em locais escavados. Porém, aterros sanitários podem contaminar as águas subterrâneas, além da não reciclagem dos materiais para os locais de origem. Os incineradores convencionais são fornos nos quais se queimam resíduos. Além de calor, a incineração gera dióxido de carbono, óxidos de enxofre e nitrogênio, dioxinas e outros contaminantes gasosos, cinzas voláteis que podem ser utilizadas na fabricação de fertilizantes. E, finalmente, no processo de compostagem, o material orgânico do lixo sofre um tratamento biológico do qual resulta o chamado "composto", material utilizado na fertilização e acondicionamento do solo.

Com relação ao tratamento do lixo doméstico, algumas estratégias podem ser adotadas, como por exemplo, a reciclagem. Pensar em formas adequadas de disposição final dos resíduos gerados contribui para melhoria da qualidade do solo e também de todo o meio ambiente. A reciclagem é um tema bastante envolvente e pode gerar diferentes e prolongadas discussões.

ATIVIDADE 4

Os termos reciclagem, coleta seletiva, consumo consciente, responsabilidade social, dentre outros, tem cada vez mais espaço em nossa sociedade e precisam se tornar modos de vida para o bem estar da sociedade e do planeta. Pesquise mais a respeito de reciclagem e proponha uma rota alternativa de reutilização de um produto descartado em grande quantidade em sua região.

Finalizando nosso capítulo de contaminantes orgânicos e inorgânicos em solo, discutiremos um procedimento que vem amplamente aplicado em estudos de descontaminação, a fitorremediação.

Na busca de alternativas para despoluir áreas contaminadas por diversos compostos orgânicos, tem-se optado por soluções que englobam: eficiência na descontaminação, simplicidade na execução, tempo demandado pelo processo e menor custo. Nesse contexto, cresce o interesse pela utilização da biorremediação, caracterizada como uma técnica que objetiva descontaminar solo e água por meio da utilização de organismos vivos, como microrganismos e plantas. Dentro da biorremediação insere-se a fitorremediação, que, segundo Accioly & Siqueira (2000), envolve o emprego de plantas, sua microbiota associada e de amenizantes (corretivos, fertilizantes, matéria orgânica etc.) do solo, além de práticas agronômicas que, se aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes inofensivos ao ecossistema. A utilização da fitorremediação tem sido estudada e difundida principalmente nos Estados Unidos e na Europa. Quando comparada com técnicas tradicionais como bombeamento e tratamento, ou remoção física da camada contaminada, a fitorremediação tem sido considerada vantajosa, principalmente por sua eficiência na descontaminação e pelo baixo custo.

A fitorremediação pode ser usada em solos contaminados com substâncias orgânicas ou inorgânicas, como metais pesados, elementos contaminantes,

hidrocarbonetos de petróleo, agrotóxicos, explosivos, solventes clorados e subprodutos tóxicos da indústria. A pesquisa com metais pesados tem sido a mais difundida. Recentes pesquisas têm difundido a utilização de plantas na fitorremediação de agrotóxicos. Em geral, é mais difícil trabalhar com contaminantes orgânicos, em razão da diversidade molecular, da complexidade de análise e das constantes transformações a que estão sujeitos. Os metais pesados, por exemplo, são mais facilmente quantificados e raramente formam metabólitos intermediários no solo, como ocorre na biodegradação dos contaminantes orgânicos. Assim, as pesquisas com compostos orgânicos contaminantes de solo exigem técnicas especializadas e de custo elevado, envolvendo o uso de elementos marcados e sofisticada instrumentação analítica. A utilização da fitorremediação é baseada na seletividade, natural ou desenvolvida, que algumas espécies exibem a determinados tipos de compostos ou mecanismos de ação. Esse fato é de ocorrência comum em espécies agrícolas e daninhas, tolerantes a certos herbicidas. A seletividade deve-se ao fato de que os compostos orgânicos podem ser translocados para outros tecidos da planta e subsequentemente volatilizados; podem ainda sofrer parcial ou completa degradação ou ser transformados em compostos menos tóxicos, especialmente menos fitotóxicos, combinados e/ou ligados a tecidos das plantas (compartimentalização). A maioria dos orgânicos parece sofrer algum grau de transformação nas células das plantas antes de serem isolados em vacúolos ou ligarem-se a estruturas celulares insolúveis, como a lignina. A capacidade de metabolização do agrotóxico a um composto não-tóxico (ou menos tóxico) à planta e ao ambiente é o princípio da fitodegradação. Outra possibilidade é a fitoestimulação, na qual há o estímulo à atividade microbiana, promovido pela liberação de exsudatos radiculares, que atua degradando de exsudatos radiculares, que atua degradando o composto no solo, o que caracteriza, em algumas plantas, a aptidão rizosférica para a biorremediação de compostos tóxicos.

O desenvolvimento de moléculas herbicidas com efeito residual longo possibilitou o controle efetivo de plantas daninhas por um período de tempo maior, reduzindo com isso o número de aplicações. No entanto, tem-se observado a ocorrência de fitotoxicidade em culturas sensíveis plantadas após a utilização desses herbicidas, cujo efeito residual varia de alguns meses até três anos ou mais. Nessa situação, torna-se possível e recomendável o emprego de espécies vegetais na descontaminação dos solos. Existe ainda o problema ambiental ocasionado pela lixiviação das moléculas de herbicidas ou de seus metabólitos para camadas mais profundas no perfil do solo,

podendo atingir o lençol de água subterrâneo. Quando o produto permanece por mais tempo no solo sem ser adsorvido aos colóides do solo, degradado e/ou mineralizado, a possibilidade de lixiviação é maior. Isso comprova que o comportamento do herbicida no solo será influenciado, entre outros fatores, pelas suas próprias características. Solos contaminados com herbicidas apresentam certas limitações à fitorremediação, quando comparados com aqueles contaminados com outros contaminantes orgânicos ou inorgânicos, por serem, muitas vezes, tóxicos às plantas, principalmente onde ocorrem misturas desses compostos.

Embora ainda incipiente no Brasil, já existem estudos sobre algumas espécies agrícolas cultivadas e espécies silvestres ou nativas da própria área contaminada, com o objetivo de selecionar espécies eficientes na fitorremediação do solo.

ATIVIDADE 5

O texto acima descreve que a fitorremediação é vantajosa quando comparada com as técnicas tradicionais como bombeamento e tratamento, ou remoção física da camada contaminada. Descreva os princípios desses dois tratamentos.

Referências

Rocha, J.C., Rosa, A.H., Cardoso, A.A., **Introdução à Química Ambiental**, 2^a Ed., Porto Alegre, 2009.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/H%C3%BAmus>, acessada em 10/04/2011.

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvasViniferasRegioesClimaTemperado/solo.htm>, acessada em 29/03/2011.

Fadigas, F. de S., Amaral-Sobrinho, N.M.B., Mazur, N., dos Anjos, L.H.C., Freixo, A.A., Concentrações Naturais de Metais Pesados em Algumas Classes de Solos Brasileiros, *Bragantia*, 61(2), 151-159, 2002.

http://www.periodicos.capes.gov.br/?option=com_pmetabusca&mn=88&smn=88&type=m&metalib=aHR0cDovL2J1c2NhZG9yLnBlcmlyZGljb3MuY2FwZXMuZ292LmJyL1Y%2FaW5zdGI0dXRIPUNBUEVTJnBvcnRhbd1OT1ZPJm5ld19sbmc9UE9SJmZ1b

[mM9cXVpY2stMS1jaGVjazEmbW9kZT1zaW1wbGU%3D&buscaRapidaArea=000175161&buscaRapidaTermo=metais+pesados+e+solos](http://www.cnpq.br/BuscaRapidaArea=000175161&buscaRapidaTermo=metais+pesados+e+solos), acessada em 13/04/2011.
<http://www.cnpq.br/>, acessada em 13/04/2011.

Tinôco, A.A.P., Azevedo, I.C.A.D., Marques, E.A.G., Mouteer, A.H., Martins, C.P., Nascentes, R., Reis, E.L., Natalino, R., Avaliação de contaminação por mercúrio em Descoberto, MG, Eng. Sanit. Ambient, 15(4), 305-314, 2010.

Pires, F.R., Souza, C.M., Silva, A.A., Procópio, S.O., Ferreira, L.R., Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas, Planta Daninha, Viçosa-MG, 21(2), 335-341, 2003.

Vieira, E.M., Soares, A.G., Landgraf, M.D., Rezende, M.O.O., Estudo da adsorção/dessorção do ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4d) em solo na ausência e presença de matéria orgânica, Quim. Nova, 22(3), 305-308, 1999.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Pesticida>, acessada 14/04/2011.

<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-poluicao-do-solo/>, acessada em 14/04/2011.

AULA 6

RESÍDUOS SÓLIDOS

Meta

Entender os problemas ambientais relacionados aos resíduos sólidos e algumas formas de disposição de lixo urbano.

Objetivos

Com as informações adquiridas ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Conhecer a classificação dos resíduos sólidos;
- Conhecer a dimensão dos problemas de contaminação ambiental relacionados ao lixo urbano;
- Conhecer alguns dos sistemas utilizados para tratamento e disposição final do lixo urbano;
- Pesquisar e discutir sobre tratamento, reaproveitamento e disposição final de resíduos sólidos industriais.

Introdução

Iniciaremos agora o estudo sobre uma das maiores fontes de contaminação do meio ambiente, os resíduos sólidos. Primeiramente é importante diferenciarmos resíduos de rejeitos, já que muitos utilizam os dois termos indiscriminadamente. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que é descrita pela lei nº 12.305 sancionada em 02 de agosto de 2010, rejeitos são resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentam outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada. De uma forma simples, os resíduos podem ser reaproveitados ou tratados e os rejeitos não. Esses resíduos são materiais, substâncias, objetos ou bens descartados resultantes de atividades humanas em sociedade. Os resíduos sólidos resultam das diversas atividades humanas e são

classificados quanto à sua origem e também quanto à periculosidade que apresentam. Detalharemos um pouco mais essa classificação.

Classificação dos Resíduos Sólidos

A classificação dos resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido (ABNT, 2004). Os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com sua origem:

- a) resíduos domiciliares:** os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana:** os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos:** os englobados nos resíduos domiciliares e nos resíduos de limpeza urbana;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços:** os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nos itens “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico:** os gerados nessas atividades, excetuados os referidos no item “c”;
- f) resíduos industriais:** os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde:** os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama (Sistema Nacional de Meio Ambiente) e do SNVS (Sistema Nacional de Vigilância Sanitária);
- h) resíduos da construção civil:** os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris:** os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes:** os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

A Norma Brasileira (NBR) 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece uma classificação de acordo com a periculosidade (ABNT, 2004):

a) Resíduos Classe I - Perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

Resíduos que apresentem pelo menos uma das características acima são classificados como resíduos Classe I.

Relembrando....

As características de inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, reatividade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade foram apresentadas na disciplina “Técnicas Básicas de Laboratório” e podem ser revisadas, caso necessário.

Você Sabia?

Um resíduo é classificado como patogênico quando contiver ou se houver suspeita de conter, microorganismos patogênicos, proteínas virais, ácido desoxiribonucléico (ADN) ou ácido ribonucléico (ARN) recombinantes, organismos geneticamente modificados, plasmídios, cloroplastos, mitocôndrias ou toxinas capazes de produzir doenças em homens, animais ou vegetais.

b) Resíduos Classe II - Não Perigosos

Resíduos Classe II A - Não inertes: aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B - Inertes. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos Classe II B – Inertes: quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Por apresentarem riscos de poluição ambiental e de saúde pública, esta disposição final deve ocorrer em aterros sanitários, obras de engenharia preparadas para o tratamento e disposição final destes resíduos de forma a gerar o mínimo impacto sobre o ambiente e a saúde humana.

Devido a grande variabilidade dos resíduos sólidos, as formas de recuperação e tratamento são diferenciadas e uma abordagem completa nos conduziria a uma longa discussão. Por isso, aqui optamos por discutir um pouco mais sobre os resíduos sólidos domiciliares, comumente conhecidos como **lixo**.

Lixo Urbano

O lixo urbano se constitui em um dos maiores problemas da sociedade moderna. O volume de lixo tem crescido assustadoramente, em especial nos países em desenvolvimento e, sua composição tem se modificado nos últimos dez anos. A melhoria da qualidade de vida, com um maior índice de consumo, tem hoje um importante papel na contaminação do meio ambiente. O que quer dizer que quanto maior o consumo, maior a quantidade de lixo produzido. As estatísticas indicam que uma pessoa produz de 0,5 a 1,5 kg de lixo por dia. Assim, por exemplo, uma cidade com um milhão de habitantes pode gerar até 1.500 toneladas diárias de lixo. Belo Horizonte-MG (2.329.000 habitantes) produz diariamente 4,56 mil toneladas de lixo. Em um ano são produzidos 1,67 milhões de toneladas de lixo.

ATIVIDADE 1

Verifique se a prefeitura da sua cidade possui informações sobre a produção de lixo. Faça os cálculos para ver qual a produção anual de lixo. Se a prefeitura não disponibilizar esses dados, calcule usando a população da cidade e considerando que cada habitante gera em média 1 kg/dia.

O Destino do Lixo Urbano

Em muitos locais, o lixo coletado na cidade é encaminhado a um depósito onde ocorre seleção de alguns materiais que podem ser reaproveitados (reciclagem). O restante do lixo é enterrado em aterros próprios (aterros sanitários ou aterros controlados) ou encaminhado para os lixões. Além dos aterros sanitários existem outros processos para destinação do lixo como, por exemplo, as usinas de compostagem, os incineradores e a reciclagem. Através da reciclagem 85% do alumínio, 38% dos papéis, 17% de plásticos, 42% de vidro, 15% de PET's e 80% de baterias são reaproveitados (CEMPRE, 2002, citado em Silva, 2006).

O processo natural de degradação do lixo realizado por microorganismos (reciclagem natural) está sendo perturbada pelas enormes e crescentes quantidades de lixo geradas, sendo que a maior parte dos dejetos - latas, vidros e a maioria dos plásticos - não é biodegradável, conservando-se por centenas de anos. O tempo de decomposição de alguns materiais muito utilizados no nosso cotidiano é apresentado no Quadro 1. É importante destacar que um menor tempo de decomposição está relacionado com a facilidade de serem rompidas as ligações químicas, presentes no material, possibilitando a transformação deste em outras substâncias de menor tamanho molecular.

Quadro 1 - Tempo de decomposição de alguns materiais.

Material	Tempo de Decomposição
Papel	3 – 6 meses
Chiclete	5 anos
Lata de alumínio	> 100 anos
Garrafa pet	> 150 anos
Pneu	Tempo indeterminado
Vidro	1 milhão de anos

Fonte: Cartilha: [Uma viagem ao Projeto Manuelzão e à Bacia do Rio das Velhas: O Lixo e as águas](#)

Por outro lado, mais de 50% em peso do lixo coletado nos Municípios do Brasil são constituídos de matéria orgânica. Em Belo Horizonte, 65% do lixo coletado é constituído de resíduo orgânico, isto é, sobras de alimentos, cascas de frutas e legumes, verduras, podas de arborização e de gramados. Esta fração do lixo, quando não tratada ou disposta no solo incorretamente, produz efluentes líquidos (chorume) e gasosos (biogás) que podem poluir os corpos hídricos e a atmosfera. Dessa forma, a matéria orgânica torna-se a principal fonte de poluição proveniente do lixo. Uma alternativa para o tratamento ou reaproveitamento da matéria orgânica residual é o processo de *compostagem*, o qual será tratado com mais detalhes no decorrer desta aula. Destacaremos também as outras formas de disposição utilizadas no Brasil: *aterros sanitários e lixões*.

Compostagem

A compostagem é definida como um processo biológico aeróbio e controlado de tratamento e estabilização de resíduos orgânicos para a produção do composto, nome dado ao fertilizante orgânico assim produzido. Os resíduos orgânicos servem como fonte de nutrientes para o crescimento da população microbiana, esta, por sua vez, transforma esses resíduos em húmus. A compostagem pode ser considerada como um processo de reciclagem de resíduos orgânicos que propicia uma destinação útil para estes resíduos, além de permitir o fechamento dos ciclos biogeoquímicos e evitar que os resíduos orgânicos acabem nos aterros e lixões.

De acordo com E.J. Kiehl o processo de compostagem pode ser classificado da forma como mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação da compostagem segundo E.J. Kiehl.

Classificação quanto à	Classes
Biologia	Aeróbio Anaeróbio Misto
Temperatura	Criofílico Mesofílico Termofílico
Ambiente	Aberto Fechado
Processamento	Estático/Natural Dinâmico/Acelerado

O processo aeróbio é aquele em que a ação dos microorganismos ocorre na presença de oxigênio. Neste caso a temperatura da massa de compostagem é elevada, devido às reações de fermentação, e há desprendimento de CO₂, NO₂, SO₂, e vapor de água (equação 1). Observe que como o oxigênio é um agente oxidante a maioria dos átomos passa para estados de oxidação mais elevados.



Se a massa estiver muito úmida pode haver a formação de ácidos como o carbônico, o sulfuroso e inclusive o sulfúrico.

No processo anaeróbio a fermentação é realizada na ausência de ar, a temperatura permanece baixa e ocorre desprendimento de gases como CH₄, NH₃ e H₂S (gases que causam mau cheiro).

O processo misto resulta da combinação dos dois processos citados anteriormente. No início da compostagem ocorre fermentação aeróbia devido à presença de oxigênio no meio e a medida que este oxigênio vai sendo consumido diminui-se o processo aeróbio e o anaeróbio começa a ocorrer.

Quanto à temperatura, o processo criofílico se refere a baixas temperaturas e a matéria orgânica é digerida a temperaturas abaixo ou próximas à do ambiente. O processo mesofílico ocorre a temperaturas médias, em geral de 40 a 45°C. Nesta fase a temperatura varia em função da população de microorganismos (quanto maior a população, maior a temperatura, pois mais reações de fermentação, que são exotérmicas, estarão ocorrendo). Nesse processo observa-se também a transformação da matéria orgânica em ácidos orgânicos e uma diminuição do pH do meio. Já no processo

termofílico a fermentação se processa a temperaturas superiores a 45°C podendo alcançar 70°C, se a atividade microbiana for muito intensa e se as condições do local permitirem.

Os processos abertos são aqueles em que a compostagem é realizada a céu aberto e nos fechados ela é realizada em dispositivos especiais como digestores, bioestabilizadores, torres ou células de fermentação. Neste último tem-se um melhor controle do processo e obtém-se um excelente produto final.

Processos estáticos são aqueles em que o revolvimento da massa de compostagem ocorre esporadicamente (predomina o processo misto), enquanto os processos dinâmicos são aqueles em que a massa é revirada constantemente (predomina o processo aeróbio).

O processo de compostagem é realizado por uma diversificada população de microorganismos e envolve pelo menos duas fases: (1) digestão, fase de fermentação onde ocorre a bioestabilização da matéria orgânica e (2) fase de maturação, em que os produtos das reações da primeira fase são transformados em húmus.

Fase 1 – Digestão: O ataque dos microorganismos à matéria orgânica resulta na liberação de elementos químicos importantes como o nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio. Estes passam da forma imobilizada (ligados a compostos orgânicos) para a forma de nutrientes minerais (disponíveis para as plantas).

A massa a ser compostada deve ser disposta em forma de leiras (figura 1) ou pilhas. Estas devem ser reviradas, para oxigenar a massa, e a temperatura deve ser determinada a cada três dias. O monitoramento da temperatura da leira de compostagem é fundamental para acompanhamento das fases do processo, uma vez que indica o grau de atividade microbiana.



Figura 1 – Leiras de compostagem.

Fonte: <http://cenbio.iee.usp.br/projetos/poda/poda.htm>

Os microorganismos aeróbios dão início ao processo e à medida que o oxigênio vai se tornando escasso, começam a predominar mecanismos anaeróbios, sendo necessário o reviramento da leira de compostagem para introduzir mais oxigênio no processo e evitar que a degradação anaeróbia ocorra e resulte na liberação de maus odores. A matéria orgânica é, num primeiro momento, submetida à ação de enzimas extracelulares específicas (proteolíticas e celulolíticas) secretadas por microorganismos hidrolíticos. Os produtos destas reações são então degradados em etapas seguintes. A energia liberada na fermentação, na forma de calor, é retida na massa de compostagem tendo como resultado o aumento da temperatura. Com condições favoráveis (umidade, nutrientes, aeração etc) a colônia microbiana mesofílica multiplica-se e a temperatura atinge a faixa termofílica (45°C). Assim que a temperatura atinge este valor, a atividade mesofílica começa a ser suprimida pela termofílica e a temperatura pode atingir até 60°C. Nesta temperatura tem-se início a degradação de polissacarídeos, como amido, celulose e proteínas transformando-os em açúcares simples e aminoácidos. É nesta temperatura que ocorre a eliminação de grande parte de microorganismo patogênicos, bem como de ervas daninhas.

Quando as fontes de carbono ficarem escassas, a temperatura no interior da massa começa a decair para valores inferiores a 60°. Tem-se, então, o reinício da atividade da população microbiana mesofílica, constituída principalmente de fungos, e começa a fase de decomposição dos compostos mais resistentes. Em geral esta primeira fase ocorre em um período de 60-70 dias. Quando a temperatura atingir valores inferiores à 45°C inicia-se a segunda fase da compostagem: a formação do húmus.

Fase 2 – Maturação: Após o período de degradação ativa da matéria orgânica, indicado pelo decaimento da temperatura, tem-se início o período de maturação do composto orgânico. Aqui não é necessário fazer a aeração das leiras, uma vez que a atividade microbiana já está no fim. É nesta fase que ocorre a formação do **húmus**. A massa de compostagem assumirá uma coloração escura (característica de material humificado) e a temperatura continuará a decair até se igualar à do ambiente.

O húmus, devido ao seu papel vital na manutenção da qualidade do solo, é fator chave para que o composto seja de boa qualidade. Ele exerce o importante papel de prover efeitos benéficos na estrutura, na compactabilidade e na capacidade de retenção de água do solo. Os principais constituintes do húmus são os ácidos húmicos.

Ao final do processo uma etapa de peneiramento pode ser introduzida a fim de reter os materiais maiores e proporcionar maior homogeneidade ao composto.

Aterro Sanitário

É um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente, lixo domiciliar. Permite a confinamento segura em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública pois é fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas. No aterro, o lixo é confinado em camadas cobertas com material inerte, geralmente, solo, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais.

Antes de se projetar o aterro, são feitos estudos geológico e topográfico para que garantir que sua instalação não comprometa o meio ambiente. É feita, inicialmente, impermeabilização do solo através de combinação de argila e lona plástica para evitar infiltração dos líquidos percolados (chorume), no solo. O chorume, um líquido de cor preta, mau cheiroso e de elevado potencial poluidor produzido pela decomposição da matéria orgânica contida no lixo, é captado (drenado) através de tubulações e encaminhado para lagoa de tratamento. Para evitar o excesso de águas de chuva, são colocados tubos ao redor do aterro, que permitem desvio dessas águas.

A quantidade de lixo depositado é controlada na entrada do aterro através de balança. Os gases liberados durante a decomposição são captados e podem ser queimados com sistema de purificação de ar ou ainda utilizados como fonte de energia.

Segundo a Norma Técnica NBR 8419 (ABNT, 1984), o aterro sanitário não deve ser construído em áreas sujeitas à inundação e deve ser localizado a uma distância mínima de 200 metros de qualquer curso d'água. Entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada de espessura mínima de 1,5 m de solo insaturado. O nível do solo deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região. O solo deve ser de baixa permeabilidade (argiloso). O aterro deve ser de fácil acesso com arborização adequada nas redondezas para evitar erosões, espalhamento da poeira e retenção dos odores.

Devem ser construídos poços de monitoramento para avaliar se estão ocorrendo vazamentos e contaminação do lençol freático: no mínimo quatro poços, sendo um a

montante e três a jusante, no sentido do fluxo da água do lençol freático. O efluente da lagoa deve ser monitorado pelo menos quatro vezes ao ano.

Você Sabia?

Desde dezembro de 2007 o lixo domiciliar coletado em Belo Horizonte é disposto no aterro sanitário de Macaúbas, localizado no distrito de Sabará. Antes disso, o lixo era depositado no aterro sanitário da BR-040, que após anos de operação teve sua capacidade máxima atingida.

Lixões

É um local onde há uma inadequada disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. É o mesmo que descarga de resíduos a céu aberto sem levar em consideração:

- a área em que está sendo feita a descarga;
- o escoamento de líquidos formados, que percolados, podem contaminar as águas superficiais e subterrâneas;
- a liberação de gases, principalmente o gás metano que é combustível;
- o espalhamento de lixo, como papéis e plásticos, pela redondeza, por ação do vento;
- a possibilidade de criação de animais como porcos e galinhas nas proximidades ou no local.

A Figura 2 apresenta um lixão típico. Os lixões são um grande problema ambiental e social. Os resíduos assim dispostos acarretam problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos etc.), geração de maus odores e, principalmente, a poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas através do chorume, comprometendo os recursos hídricos.



Figura 2 – Foto retirada de lixão.

Fonte: <http://www.funverde.org.br/blog/sacolas/projeto-sacola-retornavel>

Acrescenta-se a esta situação, o total descontrole quanto aos tipos de resíduos recebidos nesses locais, verificando-se, até mesmo, a disposição de dejetos originados dos serviços de saúde e das indústrias.

Comumente, os lixões são associados a fatos altamente indesejáveis, como a criação de porcos e a existência de catadores, como pode ser visualizado na Figura 2.

De acordo com o último senso do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008) cerca de 18 % do lixo doméstico produzido no Brasil é depositado em lixões, 0,6 % é tratado em usinas de compostagem e 65% são dispostos em aterros sanitários.

ATIVIDADE 2

Qual a forma de disposição do lixo urbano no seu município? Você acha essa disposição adequada? Justifique sua resposta.

Como podemos observar, a questão da disposição dos resíduos sólidos é um problema ambiental que tem se agravado nos últimos anos, principalmente pelo aumento da quantidade e variedade produzidas. Abordamos com maior detalhamento apenas os resíduos domiciliares, mas os resíduos industriais também são uma grande preocupação. Muitos estudos têm sido realizados para viabilizar alternativas para tratamento e reaproveitamento de resíduos industriais. Visando ampliar os conhecimentos adquiridos na parte de resíduos sólidos, vocês deveram fazer um trabalho relacionado aos resíduos industriais. Esperamos que o trabalho possa despertar vocês para a importância deste assunto em nosso cotidiano.

Consolidando o Conhecimento

Escolha um tipo de resíduo industrial e descreva os problemas relacionados a este resíduo, formas de reaproveitamento, tratamento e disposição final. Este trabalho deverá ser entregue para o seu tutor e valerá 20 pontos.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 10004, 2ª edição, Rio de Janeiro, 2004, 71p.

Cartilha: [Uma viagem ao Projeto Manuelzão e à Bacia do Rio das Velhas: O Lixo e as Águas](http://www.manuelzao.ufmg.br/subprojetos/cartilha/cap11.htm). Capítulo 11. Disponível em <http://www.manuelzao.ufmg.br/subprojetos/cartilha/cap11.htm> <acesso em 07-09-06>

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. *Como destinar os Resíduos Sólidos Urbanos*. Série manual n. 1. 2ed. Belo Horizonte: R&M Pré Impressão, 1995, 47p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008. http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/defaulttabpdf_man_res_sol.shtm. Acessado em 20/04/2011.

Kiehl, Edmar J., Porta, Armando. *Análises de Lixo e Composto: Métodos de Amostragem, Preparo de Amostra, Análises, Cálculos e Interpretação dos Resultados Analíticos*. Piracicaba – SP, 1980.

Lima, Luiz M. Q. *Tratamento de Lixo*. 2 ed. Brasil: Hemus editora, 1991, 242p.

Neto, João T.P. *Manual de Compostagem Processo de Baixo Custo*. Belo Horizonte: UNICEF, 1996.

Presidência da República, Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Programa Nacional de Resíduos Sólidos. <http://www.planalto.gov.br/ccivil03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acessado em 20/04/2011.

<http://cenbio.iee.usp.br/projetos/poda/poda.htm>. Acessado em 21/04/2011

<http://www.funverde.org.br/blog/sacolas/projeto-sacola-retornavel>. Acessado em 21/04/2011

AULA 7

QUÍMICA DA ATMOSFERA

Meta

Conhecer os principais componentes e a composição da atmosfera terrestre, assim como também os seus ciclos biogeoquímicos.

Objetivos

Com as informações adquiridas ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Conhecer as componentes e a composição da atmosfera;
- Conhecer os ciclos biogeoquímicos de carbono, enxofre e nitrogênio;
- Identificar as principais reações fotoquímicas que ocorrem na atmosfera, principalmente com relação ao ozônio;
- Entender a importância da preservação da qualidade do ar.

Introdução

A evolução da atmosfera

A terra tem aproximadamente 4,5 bilhões de anos e ao longo desse período a atmosfera sofreu modificações que permitiram a vida em nosso planeta. O quadro 1 apresenta dados da provável composição da atmosfera terrestre antes e após o aparecimento de vida em nosso planeta, e compara com outros planetas do sistema solar.

Quadro 1. Composição química da atmosfera de alguns planetas do sistema solar (%).

Gás	Vênus	Marte	Terra*	Terra
CO ₂	96,5	95	98	0,035
N ₂	3,5	2,7	1,9	79
O ₂	Traços	0,13	Traços	21
Argônio	Traços	1,6	0,1	1,0

*Composição provável antes do aparecimento da vida no planeta.

Adaptado de Jardim, W.F., A evolução da atmosfera terrestre, Cadernos temáticos de Química Nova na Escola, Ed. Especial, 2001, 5-8.

Grandes transformações químicas ocorreram ao longo desses bilhões de anos possibilitando a vida em nosso planeta. O processo mais importante ocorrido na Terra foi o aparecimento da vida, por volta de aproximadamente 3,5 bilhões de anos. O planeta apresentava uma atmosfera bastante redutora (Quadro 1), com uma crosta rica em ferro elementar e altas doses de radiação UV, já que o Sol era em torno de 40% mais ativo do que é hoje em dia. Adicionalmente, não havia oxigênio suficiente para atuar como filtro dessa radiação, como ocorre na estratosfera atual. Diante dessas características redutoras, tinha-se uma atmosfera primitiva rica em hidrogênio, metano e amônia. Estes dois últimos, em processos fotoquímicos mediados pela intensa radiação solar, muito provavelmente se transformavam em nitrogênio e dióxido de carbono e, conforme esperado, todo o oxigênio disponível tinha um tempo de vida muito curto, acabando por reagir com uma série de compostos presentes na sua forma reduzida.

A composição da atmosfera terrestre após a existência de vida no planeta se diferencia grandemente da composição quando não existia vida e também da composição de Vênus e Marte. Nossa atmosfera está em constante modificação, e, somente devido a essas modificações, podemos ter vida em uma atmosfera tão oxidante, composta por 21% de oxigênio, coexistindo com espécies reduzidas tais como metano, amônia, monóxido de carbono e óxido nitroso. Em uma análise mais abrangente, pode-se dizer que a composição química da Terra é fruto da vida que se desenvolveu no planeta. O oxigênio que compõe a atmosfera é quase todo produto da fotossíntese, pois todas as outras fontes fotoquímicas inorgânicas de produção de oxigênio juntas, contribuem com menos de um bilionésimo do estoque de O₂ que respiramos. Assim, os processos biológicos (ou seja, a vida) produzem não apenas o oxidante atmosférico, mas também os gases reduzidos, gerando um estado de baixa entropia, mantido pela inesgotável fonte de energia proveniente da radiação solar.

Você sabia?

Dentro de uma concepção química abrangente de vida, Marte e Vênus são tidos hoje como planetas estéreis, porque suas atmosferas estão em equilíbrio termodinâmico. Quer saber mais sobre o assunto? Leia Jardim, W.F., A evolução da atmosfera terrestre, Cadernos temáticos de Química Nova na Escola, Ed. Especial, 2001, 5-8.

Composição da atmosfera

A atmosfera terrestre é composta por uma mistura de gases que a envolve e que a acompanha em seus movimentos de rotação e translação. Estima-se que o limite da atmosfera é de cerca de 1000 km acima do nível do mar, porém 99% da massa que a constitui localiza-se abaixo dos 30 km de altitude. Em condições naturais de uma atmosfera limpa, podemos considerar que para cada 1 milhão de moléculas de ar, teremos 780.000 moléculas de nitrogênio (N_2), 210.000 moléculas de oxigênio (O_2), 9.300 moléculas de gases nobres (Ar, Ne, Xe e outros), 300 moléculas de gás carbônico (CO_2) e 400 moléculas de outros elementos (SO_2 , NO_2 , O_3 e outros). A Figura 1 apresenta as principais regiões que compõem a atmosfera terrestre.

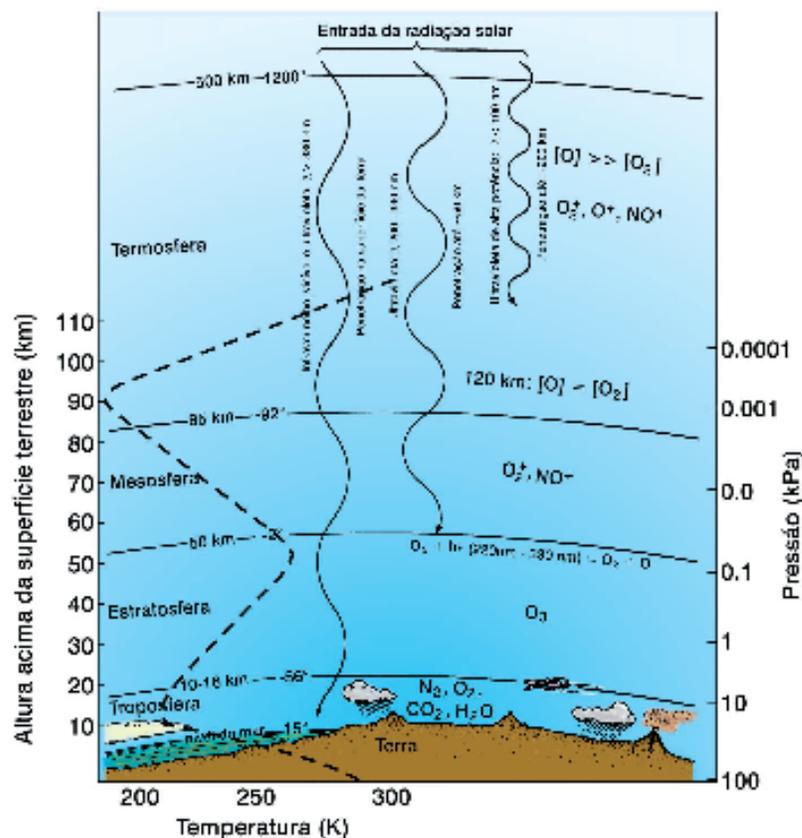


Figura 1. Principais regiões da atmosfera terrestre (Fonte: Mozeto, A.A., Química atmosférica: a química sobre nossas cabeças, Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, Ed. Especial, 2001, 41-49, adaptada de Manahan, 1984, Moore e Moore, 1976).

A atmosfera é composta pelas seguintes camadas:

- Troposfera (do nível do mar até cerca de 15 km de altitude): contém 80% em massa dos gases atmosféricos. A temperatura diminui com aumento da altitude, até atingir cerca de -60°C e a zona limite designa-se por tropopausa, de temperatura constante.
- Estratosfera (de 15 km a 50 km): nessa camada, a temperatura aumenta desde -60°C até cerca de 0°C , devido a absorção da radiação UV (energia compreendida entre $6,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ e $9,9 \times 10^{-19} \text{ J}$) pelas moléculas de ozônio. A zona limite designa-se por estratopausa, de temperatura constante.
- Mesosfera (de 50 km a 80 km): camada mais fria da atmosfera. A temperatura diminui novamente com a altitude, atingindo os -100°C , pois a concentração de espécies que absorvem energia, especialmente o ozônio, decresce. A zona limite designa-se por mesopausa.
- Termosfera (de 80 km a 800 km): nesta e em camadas mais altas existem espécies iônicas e atômicas. Atingem-se as temperaturas mais elevadas, podendo atingir-se os 1200°C , devido à absorção de radiação de alta energia, com comprimento de onda de cerca de 200 nm.

É importante comentar que há registros de variações na altitude das regiões limítrofes entre essas camadas. A tropopausa (que separa a troposfera da estratosfera) pode variar até mais de 1 km em um único dia em função de diversos fatores que incluem a temperatura e a natureza da camada inferior.

A atmosfera terrestre pode ser vista como um grande ‘cobertor’ do planeta. Ela protege a Terra e as suas formas de vida de um ambiente muito hostil, que é o espaço cósmico, que contém radiações extremamente energéticas. Ela é o compartimento de deposição e acumulação de gases e de particulados, como o CO_2 e o O_2 , produtos dos processos respiratório e fotossintético de plantas terrestres e aquáticas, macro e micrófitas, e de compostos nitrogenados essenciais à vida na Terra, fabricados por organismos (bactérias e plantas) a partir de N_2 atmosférico. A atmosfera também se constitui em um componente fundamental do Ciclo Hidrológico, pois age como um gigantesco condensador que transporta água dos oceanos aos continentes.

A atmosfera tem a função vital de proteção da Terra, pois absorve a maior parte da radiação cósmica e eletromagnética do Sol, sendo que apenas a radiação entre a região de 300-2.500 nm (ultravioleta, a UV, visível e infravermelha, a IV) e entre 0,01-40 m (ondas de rádio) é transmitida pela atmosfera e atinge nossas cabeças. Como

afirma Manahan (1984), citado em Mozeto (2001) “*é particularmente um fato feliz o fato de a atmosfera filtrar a radiação Ultra Violeta de comprimento de onda (λ) menor que cerca de 300 nm que destrói os tecidos vivos*”.

Nota-se então, que é essencial a manutenção do balanço de calor na Terra, absorvendo a radiação infravermelha emitida pelo sol e aquela reemitida pela Terra. Estabelecem-se assim, condições para que não tenhamos as temperaturas extremas que existem em outros planetas e satélites que não têm atmosfera.

Transformações químicas na atmosfera

A atmosfera terrestre pode ser considerada como um grande reator químico. Além do oxigênio, que é um composto bastante reativo, ela contém diversos compostos, em pequenas concentrações, que atuam como reagentes e/ou catalisadores. Além disso, a luz solar atua como fonte de energia e promotora de reações, em um processo conhecido como fotocatalise. Ao chegar na atmosfera, os compostos provenientes da superfície terrestre começam a reagir e a sofrer transformações químicas, que podem acontecer de maneira rápida ou lenta, dependendo da reatividade do composto, de sua concentração, da temperatura e da presença ou não de catalisadores. Alguns compostos já foram convenientemente estudados e tiveram sua capacidade de reagir estabelecida. Tal capacidade é conhecida como tempo de residência e refere-se ao tempo médio de permanência do composto na atmosfera. O Quadro 2 lista alguns compostos presentes na atmosfera e seus tempos de residência.

Quadro 2. Tempo de residência e composição média de alguns gases na atmosfera.

Compostos	Tempo de residência (a:anos, d:dias, h:horas)	Composição (ppb: parte por bilhão em volume)
Dióxido de carbono, CO ₂	4a	360.000
Monóxido de carbono, CO	0,1a	100
Metano, CH ₄	8a	1.600
Formaldeído, HCOH	1d	0,1-1
Dióxido de nitrogênio, NO ₂	1d	0,3
Amônia, NH ₃	5d	1
Dióxido de enxofre, SO ₂	1-4d	0,01-0,1
Cloreto de metila, CH ₃ Cl	1,8a	0,7
Cloreto de hidrogênio, HCl	4d	0,001

Adaptado de Rocha, J.C., Rosa, A.H., Cardoso, A.A., Introdução à Química Ambiental, 2ª edição, 2009.

A informação sobre o tempo de residência é importante para prevermos a ação de um composto, tomando como base o local de sua emissão. O dióxido de enxofre tem tempo médio de residência de 1 a 4 dias, podendo atuar em regiões distintas da que foi lançado na atmosfera, o mesmo ocorrendo com o dióxido do carbono, que possui tempo médio de residência de 4 anos.

ATIVIDADE 1

Tendo em mente o tempo médio de residência de alguns gases na atmosfera, preveja os prováveis efeitos da liberação de grandes quantidades de HCl, NH₃ e SO₂ em uma mesma região. Descreva as possíveis reações químicas, lembrando que a atmosfera é composta por partículas de água.

Você sabia?

O poluente primário é aquele composto que chega à atmosfera pela emissão direta de uma fonte natural ou antrópica e o poluente secundário é aquele composto formado como produto de uma reação entre compostos presentes na atmosfera.

Se existem compostos sendo emitidos continuamente para a atmosfera é necessário que haja também processos que consumam esses compostos. Eles são conhecidos como sorvedouros. O composto pode sair da atmosfera devido a um sorvedouro que o retira diretamente, como no caso da chuva, que dissolve os gases solúveis, do vento que arrasta o composto em direção ao solo, ou ainda por um sorvedouro que utiliza mecanismos químicos. Como os processos de emissão, a transformação e a saída da atmosfera envolvem reações químicas ou mudanças de fase passando pelos vários ecossistemas terrestres, envolvendo os seres vivos. Essa sequência de transformações é conhecida como ciclo biogeoquímico. Abordaremos os ciclos biogeoquímicos do carbono, do nitrogênio e do enxofre.

Ciclos biogeoquímicos

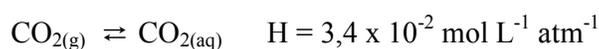
A composição da atmosfera modifica-se continuamente em resposta às interações biológicas e geológicas que ocorrem nas interfaces com a litosfera e a hidrosfera. As altas concentrações de nitrogênio e oxigênio devem-se à regeneração contínua dessas substâncias por organismos vivos (atividade microbiana e fotossíntese, respectivamente). A atmosfera do planeta teria altas concentrações de gás carbônico na ausência da biota, ao passo que o oxigênio seria apenas uma substância com concentração em nível de traços. A vida na Terra é mantida pela energia proveniente do Sol e pelas interações entre sistemas físicos e biológicos, tornando o planeta um sistema auto-sustentado e em evolução. Durante as erupções vulcânicas, grandes quantidades de cinzas e dióxido de enxofre são produzidas e lançadas para a atmosfera e, esse dióxido de enxofre pode ser convertido a sulfato particulado. Os processos de transporte e deposição são responsáveis pelo retorno de parte dessas substâncias aos solos, oceanos e corpos d'água, enquanto reações na atmosfera produzem as transformações químicas e físicas, convertendo-as em novas espécies. Pode-se assumir, com boa aproximação, que nosso planeta é um sistema fechado em termos de fluxos de massa, sem entrada ou saída de material. A entrada de pequenos corpos celestes (meteoritos) e o escape de moléculas muito leves são frações ínfimas nesse balanço. A seguir, serão apresentados os ciclos para alguns dos principais elementos químicos constituintes da atmosfera.

Ciclo do Carbono

A importância do carbono e de seus compostos é inquestionável. Ele é onipresente na natureza e seus compostos (proteínas, carboidratos e gorduras) são constituintes essenciais de toda a matéria viva e fundamentais na respiração, fotossíntese e na regulação do clima. Existe uma grande variedade de compostos de carbono envolvidos no seu ciclo global. Esses compostos podem ser sólidos, líquidos ou gasosos. Muitos deles são sintetizados pelos organismos vivos, com número de oxidação variando de +4 a -4. Porém, o transporte de carbono entre os vários compartimentos (atmosfera, hidrosfera e litosfera) é realizado, principalmente, pelo carbono com número de oxidação +4, na forma de dióxido de carbono (CO_2), carbonato (CO_3^{2-}) ou bicarbonato (HCO_3^-).

Os reservatórios de CO_2 na atmosfera, litosfera e nos oceanos são extremamente grandes. Os fluxos entre estes compartimentos são bidirecionais, tornando as

alimento por organismos heterotróficos é parcialmente reconvertida a CO₂ pela respiração e, posteriormente, por processos de decomposição da matéria orgânica, pela morte de animais e plantas e por microrganismos. No decorrer de um tempo suficientemente longo, a respiração e a decomposição dos organismos heterotróficos tende a balancear a PPL. A fixação do CO₂ pelos oceanos se dá através da dissolução do gás na água e por fotossíntese. A dissolução do CO₂ pode ser expressa pelas seguintes equações:



A espécie predominante dependerá do pH da água e das respectivas constantes de equilíbrio das reações. Geralmente, a 15 °C e valores de pH abaixo de 5,0, prevalece o CO_{2(aq)}, enquanto que para valores de pH acima de 10,5 prevalece o CO_{3²⁻(aq)}. Para pH próximos a 8,0 praticamente só existe o íon HCO_{3⁻}. No caso de oceanos, em que o pH da água está próximo a 8,0, a espécie solúvel predominante será o íon bicarbonato, HCO_{3⁻}. A principal rota de transferência do CO₂ para o fundo dos oceanos é pela sedimentação de carbonato de cálcio insolúvel, CaCO₃, na forma de organismos formadores de exoesqueletos, como conchas, moluscos, etc. Sua decomposição ao longo de milhões de anos leva à formação de depósitos ricos em hidrocarbonetos (petróleo) e carvão. Outra parte é re-dissolvida por processos químicos e biológicos, permanecendo como fração solúvel. O CO₂ é também fixado na forma de carbono orgânico, pela fotossíntese de algas na superfície ensolarada das águas e pelo crescimento resultante do fitoplâncton. Esse CO₂ retorna à atmosfera através da respiração e decomposição da biomassa assim formada. O balanço de massa no fluxo de CO₂ entre a atmosfera e o oceano é resultado de um desequilíbrio nas concentrações desse gás entre os dois compartimentos, de acordo com a localização. Assim, em regiões próximas ao equador, as águas quentes favorecem uma transferência maior do oceano para a atmosfera, enquanto em médias e altas latitudes predomina o processo inverso, em que CO₂ da atmosfera é dissolvido nas águas frias.

Alguns modelos globais sugerem que há uma transferência líquida de CO₂ da atmosfera para os oceanos na faixa de $2,0 \pm 0,8$ Gt C/ano. De acordo com medições efetuadas em camadas de gelo na Antártica a quantidade de CO₂ no ar, nos últimos 200.000 anos, variou entre 200 e 280 g/t, denotando estabilidade nos processos de formação e remoção, que foi mantido até o século 19, no limiar da revolução industrial. Porém, nos últimos 130 anos, a concentração de CO₂ aumentou em quase 30%. Atualmente, esse aumento é de aproximadamente 0,5% anuais, o qual, caso mantido, dobrará a quantidade no tempo aproximado de um século e meio. Esse acréscimo é atribuído, principalmente, à queima de combustíveis fósseis e, em certo grau, aos processos de desflorestamento e queimadas. As taxas de emissão de C, através desses processos, crescem a uma taxa de 4,3% ao ano, cerca de oito vezes maiores do que as taxas de crescimento da concentração de CO₂. Os oceanos e o replantio da vegetação são importantes mecanismos de remoção dessa produção excedente. Porém, é importante frisar que cerca de 3,3 Gt de C líquidas, como CO₂, estão sendo introduzidos na atmosfera do planeta a cada ano, com conseqüências globais sobre o clima, as quais vem sendo amplamente discutidas em diversos foros ambientais.

Você sabia?

Uma gigatonelada de C = 1 Gt = 10^{12} kg de C = 1.000×10^9 kg C = mil bilhões de kg de C

Ciclo do nitrogênio

O nitrogênio é um macroelemento essencial para a vida, sendo um dos principais componentes de aminoácidos, formadores de proteínas. Muitos compostos contendo nitrogênio são encontrados na natureza, pois este elemento químico possui grande capacidade de fazer ligações químicas, com números de oxidação variando de -3 a +5. É o mais abundante elemento químico na atmosfera (78% de sua constituição). Porém, a maior parte está agregada a rochas ou na forma de nitrogênio molecular (N₂). Apenas 0,02% do nitrogênio se encontra em uma forma disponível para ser utilizado pelas plantas. A forma N₂ é considerada um composto inerte porque a maioria dos seres vivos não consegue utilizá-la em seus processos energéticos. Algumas bactérias têm a capacidade de retirar N₂ da atmosfera e convertê-lo em espécie reativa. Para ser considerado reativo, o nitrogênio deve estar ligado ao carbono, oxigênio ou hidrogênio.

Os constituintes minoritários, tais como óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2), ácido nítrico (HNO_3) e amônia (NH_3) são quimicamente reativos e têm importantes papéis nos problemas ambientais contemporâneos, incluindo a formação e precipitação ácida (chuva ácida), poluição atmosférica (*smog* fotoquímico), aerossóis atmosféricos e a depleção da camada de ozônio. Os óxidos de nitrogênio, NO e NO_2 , são rapidamente interconvertíveis e existem em equilíbrio dinâmico. Por conveniência, a soma das duas espécies é geralmente referida como NO_x ($NO_x = NO + NO_2$).

Outra forma natural de transformar N_2 em uma espécie reativa se dá quando relâmpagos são formados na atmosfera, em um processo denominado fixação atmosférica de nitrogênio. A elevada temperatura produzida na fâisca faz com que o nitrogênio e o oxigênio se combinem e formem óxidos de nitrogênio, os quais podem ser transportados ao solo pela água da chuva.

O N_2 é essencial à vida e a figura 3 mostra as principais rotas de nitrogênio no ciclo.

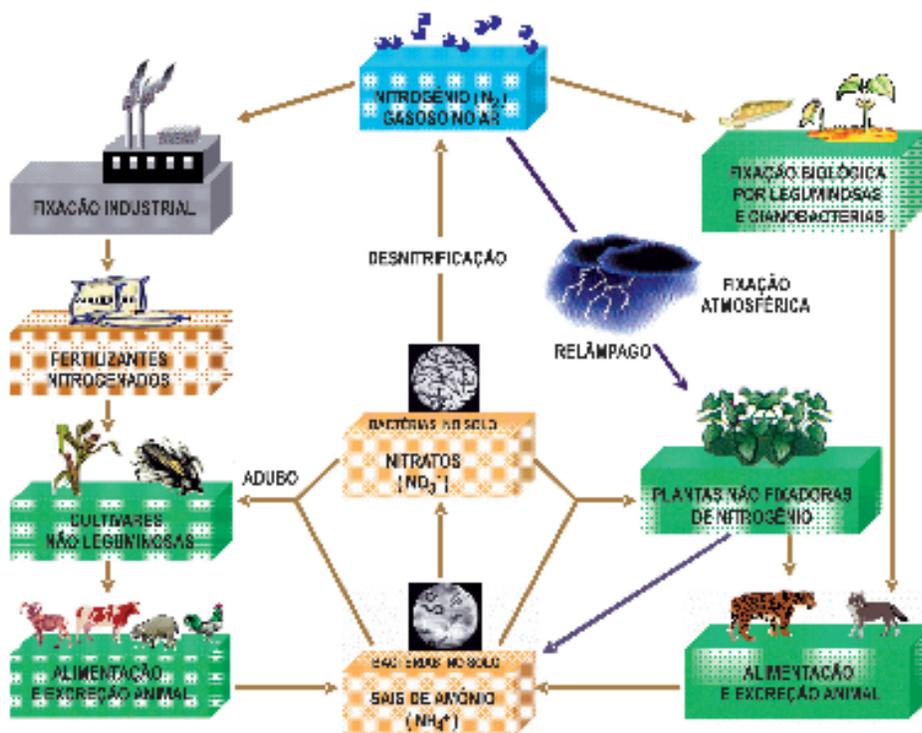
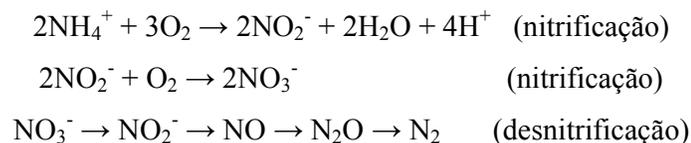


Figura 3. Ciclo global do nitrogênio (Fonte: Martins, C.R., Pereira, P.A. de P., Lopes, W.A., Andrade, J.B., Ciclos Globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre: a importância na Química da atmosfera, Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, nº 5, 2003, 28-41).

Este ciclo descreve um processo dinâmico de intercâmbio de nitrogênio entre a atmosfera, a matéria orgânica e compostos inorgânicos. Qualquer processo que resulte na transformação do N₂ da atmosfera em outros compostos de nitrogênio é denominado de fixação de nitrogênio. Um grande número de bactérias pode converter o nitrogênio gasoso a amônia (NH₃) ou íons amônio (NH₄⁺), por meio de redução catalisada por enzimas, em um processo conhecido como fixação biológica de nitrogênio, que representa 90% de toda a fixação de origem natural. Para o ecossistema terrestre, na ausência de fertilizantes, a fixação biológica de N₂ pela bactéria *Rhizobium* é a fonte mais importante de nitrogênio para os organismos vivos. Em ecossistemas aquáticos o ciclo do nitrogênio é similar, sendo as cianobactérias os microrganismos mais importantes na fixação de nitrogênio. Atividades antrópicas, como a produção de amônia ou ácido nítrico, também contribuem para a fixação de nitrogênio em processo denominado fixação industrial de nitrogênio. O nitrogênio também pode ser oxidado a nitritos (NO₂⁻) ou nitratos (NO₃⁻) num processo chamado de nitrificação, o qual é facilitado pela presença de certas bactérias. A redução de nitrato (NO₃⁻) a espécies gasosas de nitrogênio (N₂, N₂O, NO), ocorre em processos químicos e biológicos e é denominada de desnitrificação. Como resultado deste processo, o N₂ atmosférico constitui o principal reservatório de nitrogênio na Terra. Por outro lado, a ausência de desnitrificação pode ter sido a responsável, no passado, pelo grande acúmulo de nitrato nos oceanos. A desnitrificação ocorre em toda a superfície terrestre, num processo que reduz o nitrogênio desde o estado de oxidação +5 (NO₃⁻) até zero (N₂). Esse ciclo é fechado com o retorno do N₂ à atmosfera.



O ser humano moderno alterou o ciclo do nitrogênio pela introdução de grandes quantidades de nitrogênio reativo. Esse nitrogênio é essencial para a agricultura por ser um dos principais componentes dos adubos NPK (nitrogênio, fósforo e potássio).

Atualmente, existem processos químicos industriais para a produção de amônia a partir de nitrogênio e hidrogênio. A amônia é amplamente utilizada pela humanidade, destacando-se seu uso como fonte de nitrogênio na fabricação de fertilizantes, como agente neutralizador na indústria do petróleo e como gás de refrigeração em sistemas

industriais. Seu poder refrigerante e seu baixo potencial de destruição da camada de ozônio estratosférico tornam este gás adequado para ser usado em grandes máquinas de refrigeração, em substituição ao clorofluorcarbono (CFC). Porém, a taxa de produção industrial de nitrogênio tem sido muito maior do que a taxa de crescimento da população. As conseqüências desse aumento ainda são imprevisíveis e atenção deve ser dada a este fato.

Você sabia?

O processo de produção de amônia (NH₃) a partir dos gases hidrogênio (H₂) e nitrogênio (N₂) foi de difícil desenvolvimento e demandou vários anos de estudo, recebendo o nome de processo Haber-Bosch, em homenagem aos seus idealizadores. A equação química a seguir descreve o processo: $\frac{3}{2} \text{H}_{2(g)} + \frac{1}{2} \text{N}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{NH}_{3(g)}$

ATIVIDADE 2

1. A equação $\text{CO}_{2(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_{3(aq)} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)} + \text{CO}_3^{2-}_{(aq)}$ está relacionada com o ciclo biogeoquímico do carbono e apresenta um importante equilíbrio químico de formação de estalactites e estalagmites nas cavernas do interior do Estado de Minas Gerais. Pesquise mais sobre o assunto e descreva o processo de formação das estalactites.

2. Conforme apresentado no texto acima: A amônia é amplamente utilizada pela humanidade, destacando-se seu uso como fonte de nitrogênio na fabricação de fertilizantes, como agente neutralizador na indústria do petróleo e como gás de refrigeração em sistemas industriais. Descreva a utilização da amônia como agente neutralizador e as vantagens de utilização em sistemas de refrigeração.

Ciclo do enxofre

Muitos compostos contendo enxofre são encontrados na natureza, pois este elemento possui grande capacidade de fazer ligações químicas, com números de oxidação variando de -2 a +6. O enxofre é um elemento essencial à vida na Terra, sendo alguns de seus compostos de grande importância biológica: organismos vivos, incluindo plantas, assimilam espécies de enxofre, enquanto que ao mesmo tempo, várias formas de enxofre são emitidas como produto final de seus metabolismos. O enxofre representa aproximadamente 0,5% da massa seca de plantas e microrganismos e 1,3% do tecido animal. O ciclo global do enxofre compreende um conjunto de transformações

entre as espécies de enxofre presentes na litosfera, hidrosfera, biosfera e atmosfera e está apresentado na Figura 4.

Compostos reduzidos de enxofre, principalmente o sulfeto de hidrogênio (H_2S), são formados por atividade bacteriana anaeróbica, no processo de oxidação de carbono orgânico a dióxido de carbono e redução de sulfato (SO_4^{2-}) a sulfeto (S^{2-}). Parte deste, ao reagir com íons metálicos é fixado na litosfera, na forma de rochas e sedimentos. Na presença de oxigênio, bactérias aeróbicas também podem produzir sulfeto, pela decomposição de matéria biológica contendo enxofre. Compostos reduzidos de enxofre como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), o dimetilsulfeto (CH_3SCH_3 ou DMS), o sulfeto de carbonila (COS) e o dissulfeto de carbono (CS_2) são voláteis e rapidamente escapam para a atmosfera. A transformação destes compostos na troposfera (oxidante) exhibe tendência aos estados de oxidação mais altos. Os mais importantes gases que contêm enxofre e estão presentes na atmosfera são dimetilsulfeto, sulfeto de carbonila, sulfeto de hidrogênio, dissulfeto de carbono e dióxido de enxofre.

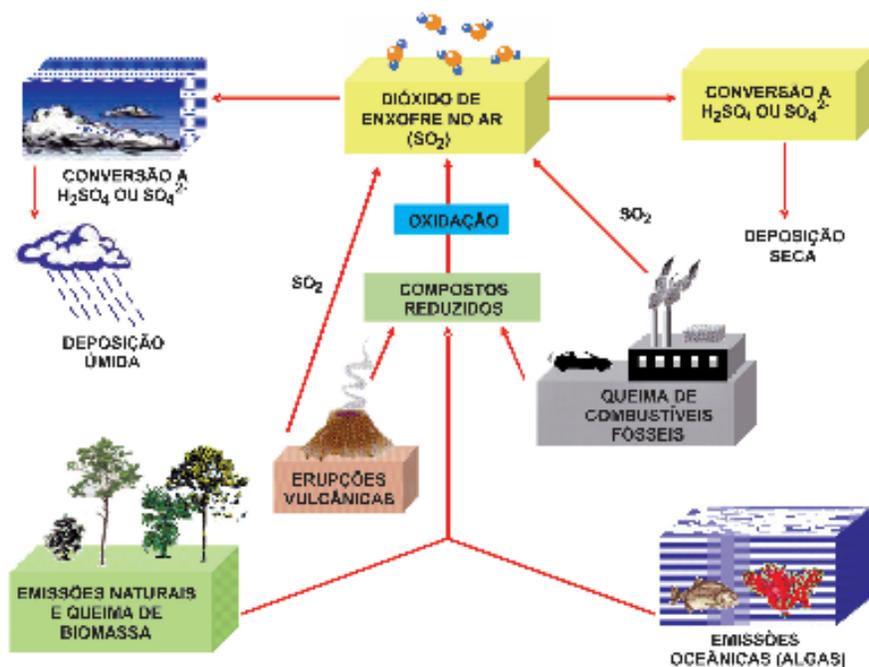


Figura 4. Ciclo global do enxofre (Fonte: Martins, C.R., Pereira, P.A. de P., Lopes, W.A., Andrade, J.B., Ciclos Globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre: a importância na Química da atmosfera, Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, nº 5, 2003, 28-41).

As atividades humanas são responsáveis pela emissão de grandes quantidades de enxofre para a atmosfera, na forma de SO_2 gasoso, um subproduto da combustão de

materiais que possuem enxofre na sua estrutura, como os combustíveis fósseis e biomassa (restos vegetais e madeira). Como a queima de combustíveis fósseis é mais intensa em países ricos, a concentração de enxofre encontrado no hemisfério norte é superior ao hemisfério sul. Grande parte do enxofre é transformada em partículas de sulfato na atmosfera ou sofre outras transformações, formando ácido sulfúrico e aumentando a acidez das chuvas. As emissões resultantes das atividades humanas globais são da ordem de 73-80 Tg S/ano (Tg = teragrama = 10^{12} g) e as emissões naturais da ordem de 40-85 Tg S/ano, não considerando a poeira de solo e o sulfato proveniente do *spray* marinho.

Você sabia?

Na água, a forma dissolvida de enxofre mais comum é o sulfato (SO_4^{2-}). Depois do íon Cl^- , ele é o principal ânion presente em águas marinhas. Existem grandes quantidades de sulfato agregadas às partículas na atmosfera. Muitas delas são provenientes de gotículas de água formadas nas ondas e levadas pelo vento. Essa forma de emissão é conhecida como *spray* marinho. Tais partículas podem ser levadas pelo vento e depositadas a centenas de quilômetros do litoral.

ATIVIDADE 3

1. O dióxido de enxofre (SO_2), em presença de gotículas de água na atmosfera, forma o ácido sulfuroso (H_2SO_3), que ao reagir com o oxigênio, produz ácido sulfúrico (H_2SO_4). Escreva as equações químicas que representam a formação de ácido sulfúrico na atmosfera.
2. O tempo médio para a transformação do dióxido de enxofre em ácido sulfúrico é de cerca de dois dias. Em função disso, esse poluente pode ser levado pelo vento e alcançar regiões distantes da qual foi originalmente lançado. Se esse ácido sulfúrico encontrar um ambiente rico em amônia, qual será o produto dessa reação?
3. Sabendo-se que a amônia pode reagir com outros ácidos presentes na atmosfera, justifique a importância da amônia na atmosfera?

Reações fotoquímicas envolvendo o ozônio

Reações fotoquímicas acontecem com frequência na atmosfera. Elas se desenvolvem quando uma molécula absorve um fóton de luz de comprimento de onda específico (λ). A energia de um fóton é calculada pela equação $E = h\nu$, onde h é a

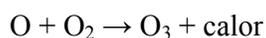
constante de Planck e ν é a frequência da luz. A frequência da luz está relacionada com o comprimento de onda pela equação $\nu = 1/\lambda$. Portanto, quanto menor o comprimento de onda (λ), maior a energia associada ao fóton.

Na estratosfera e acima dela, moléculas de O_2 e N_2 filtram a radiação solar impedindo que energia com comprimento de onda menor que 220 nm atinga a superfície da Terra. Já a radiação na faixa entre 220 a 320 nm é filtrada principalmente pelas moléculas do oxigênio triatômico O_3 , o ozônio (pico de absorção entre 250- 260 nm), que se distribui na parte média e baixa da estratosfera. Os fótons da luz visível ou UV têm energia da ordem de grandeza das entalpias (ou calor de reação) de muitas reações químicas, o que viabiliza a dissociação de moléculas. As moléculas de O_2 absorvem fótons de energia correspondentes a $\lambda \leq 241$ nm, e se dissociam, segundo a equação abaixo:



No caso da reação acima, trata-se de uma reação de fotólise, fotodissociação ou ainda de decomposição fotoquímica. Contudo, as moléculas de O_2 somente se dissociarão se a quantidade de energia do fóton for suficiente. Se a dissociação não ocorre, a molécula acumula o excesso de energia por um tempo curto e forma-se uma molécula em estado excitado (de energia maior do que a do estado fundamental), denotado por O_2^* . Esse excesso de energia ou é convertido em um fóton e novamente emitido ao meio, ou é convertido em calor que é transmitido a espécies vizinhas através das colisões.

Moléculas de O_3 são formadas e destruídas em reações fotoquímicas não catalíticas na estratosfera. Estas reações são exotérmicas, conferindo o perfil típico de temperatura desta camada da atmosfera. Moléculas de O_2 em colisão com átomos de oxigênio resultam na produção de ozônio segundo a equação abaixo:

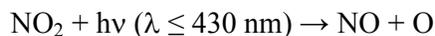


Esta reação é a principal fonte de geração do O_3 da estratosfera. No entanto, os óxidos de nitrogênio NO_x (NO e NO_2) tem papel fundamental na formação do ozônio.

De uma forma mais realista, pode-se assumir que a oxidação do NO na atmosfera se dá principalmente pela reação com o ozônio:



O NO₂ formado nessa etapa, na presença de luz solar (hν) sofre reação oposta, provocando a dissociação do NO₂ e regenerando NO e O₃, segundo as reações abaixo:



Com taxas iguais de formação e destruição de NO₂, as reações acima descrevem um estado fotoestacionário. Nessa situação, os níveis de ozônio (oxidante) tendem a permanecer em nível baixo, pois são consumidos na mesma velocidade em que são gerados.

Os processos catalíticos de destruição do ozônio são de fundamental importância no estudo da química atmosférica e começaram a ser desvendados no início da década de 1960. Várias são as espécies atômicas ou moleculares que fazem esta destruição através da remoção de um átomo de oxigênio da molécula de O₃. Esses catalisadores são radicais livres, átomos ou moléculas com pelo menos um elétron não emparelhado, o que os torna espécies altamente reativas. Dentre eles podem ser citados: OH•, CH₃•, CF₂Cl•, H₃COO•, H₃CO•, ClOO•, ClO•, HCO•, e NO•. Essas espécies são denominadas ‘catalisadores da depleção da camada de ozônio’, o chamado ozônio desejável, devido a proteção que exerce, filtrando/absorvendo radiação energética, que tem efeitos deletérios à biosfera (em oposição ao indesejável, que é o O₃ da troposfera – dada a sua toxicidade às plantas e organismos).

Os oxidantes (como o O₃) têm papel fundamental para a química atmosférica, pois são modificadores da sua composição química, interferem na qualidade do ar e também podem influir no balanço térmico da atmosfera. Desempenham papel de limpeza da atmosfera, já que no processo de oxidação ocorre sempre a formação de moléculas mais solúveis em água, facilitando assim, a remoção de contaminantes pela água da chuva. Os oxidantes atuam como detergentes que solubilizam a sujeira para que seja removida pela água.

Os ciclos biogeoquímicos sofrem modificações naturais e também são constantemente afetados pelas atividades humanas, tais como indústrias, agricultura e

pecuária. Além disso, cresce a aglomeração humana em cidades, aumentando a dependência por insumos e energia. Estes fatores ocasionam, sem dúvida, transformações na composição e na concentração dos diversos constituintes da atmosfera.

Atualmente, termos como depleção da camada de ozônio, efeito estufa e chuva ácida, entre outros, foram incorporados ao cotidiano do cidadão comum. O uso de combustíveis fósseis tem contribuído de forma significativa para o aumento da concentração (pressão parcial) de CO_2 na atmosfera. Este fato é preocupante, pois de um lado, este gás é fundamental para processos como a fotossíntese, regulação da alcalinidade da água do mar, composição do exoesqueleto de animais marinhos, por outro lado, pode ocorrer um desequilíbrio e prejudicar o rendimento de outros processos.

O ciclo do nitrogênio tem sido substancialmente modificado pela intensificação de práticas agrícolas com o uso de fertilizantes químicos, incremento de atividades industriais e das emissões por motores de combustão interna. Em muitas regiões do mundo, crescem os índices de poluição do ar e da água por ácido nítrico e nitratos e também pela deposição de amônia nos ecossistemas terrestres.

A transformação das espécies de enxofre na atmosfera também é responsável pela formação do aerossol de sulfato, como gotas de H_2SO_4 ou partículas de sais: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, MgSO_4 , CaSO_4 e outros. Estas partículas possuem diâmetro $< 10\mu\text{m}$, podendo penetrar nos pulmões e causar doenças respiratórias. Além disso, o aerossol de sulfato provoca a diminuição de visibilidade no ambiente, como consequência do fenômeno da dispersão da luz. Aerossóis contendo partículas de sulfato são também responsáveis por mudanças climáticas, já que absorvem e refletem uma fração significativa da radiação solar incidente, podendo provocar redução da temperatura na superfície terrestre.

Os impactos ambientais no ecossistema terrestre e em especial na atmosfera, devido à utilização e transformação de substâncias químicas, poderão ser minimizados pelo uso adequado dos conhecimentos de química e dos recursos naturais, pelo entendimento dos processos ambientais, bem como, pelo estabelecimento de estratégias de remediação e desenvolvimento sustentável. Este é o grande desafio para as gerações atuais e futuras.

Consolidando o conhecimento

1. A chuva ácida tem pH em torno de 4,5 a 5,6, em função do conteúdo natural de dióxido de carbono e de espécies de enxofre. A presença de ácido sulfúrico e de ácido nítrico pode abaixar ainda mais o valor do pH. Ao infiltrar nos solos, os ácidos presentes na água podem reagir com diversas substâncias, liberando íons metálicos tóxicos como Al^{3+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} . Discuta as prováveis conseqüências para a vegetação, rios, lagos e peixes após a liberação desses íons metálicos para o ambiente.

Referências

Jardim, W.F., A evolução da atmosfera terrestre, Cadernos temáticos de Química Nova na Escola, Ed. Especial, 2001, 5-8.

http://profs.ccems.pt/PauloPortugal/CFQ/Atmosfera/Composio_Atmosfera.html,

acessada em 21/04/2011.

Mozeto, A.A., Química atmosférica: a química sobre nossas cabeças, Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, Ed. Especial, 2001, 41-49.

Martins, C.R., Pereira, P.A. de P., Lopes, W.A., Andrade, J.B., Ciclos Globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre: a importância na Química da atmosfera, Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, nº 5, 2003, 28-41.

Rocha, J.C., Rosa, A.H., Cardoso, A.A., **Introdução à Química Ambiental**, 2ª Ed., Porto Alegre, 2009.

AULA 8

POLUIÇÃO DO AR E SEUS EFEITOS

Meta

Conhecer os diversos poluentes do ar e os problemas relacionados a eles.

Objetivos

Com as informações adquiridas nesta aula, é desejável que você seja capaz de:

- Ter conhecimento sobre os principais poluentes atmosféricos;
- Conhecer as causas e conseqüências do efeito estufa e do aquecimento global;
- Conhecer as causas e conseqüências da chuva ácida;
- Conscientizar-se a respeito dos problemas que a poluição atmosférica traz para o meio ambiente.

Introdução

O ser humano, ao interagir com o meio ambiente, produz resíduos que podem poluir o ar. Desta forma, existem na atmosfera vários agentes poluentes. Eles são produzidos, principalmente, por automóveis, motocicletas, aviões, fábricas, queimadas, centrais termoelétricas, geradores movidos a combustíveis fósseis, vulcões e etc. A presença dos elementos, que serão descritos com mais detalhes nesta aula, depende muito da localização, uso do solo e atividades que são realizadas na área. Portanto, dificilmente encontraremos todos os elementos numa mesma cidade ou área específica. Regiões com grande tráfego de veículos, por exemplo, apresentam o ar com forte presença de monóxido de carbono.

Esta poluição tem gerado diversos problemas nos grandes centros urbanos. A saúde do ser humano, por exemplo, é a mais afetada com a poluição. [Doenças respiratórias](#) como a bronquite, [rinite alérgica](#), [alergias](#) e [asma](#) levam milhares de pessoas aos hospitais todos os anos. A poluição do ar também tem prejudicado os ecossistemas e o [patrimônio histórico](#) e cultural. A chuva ácida, que é uma conseqüência da poluição do ar, mata plantas, animais e danifica, com o tempo, [monumentos históricos](#). O [clima](#) também é afetado pela poluição

do ar. O fenômeno do efeito estufa está aumentando a temperatura em nosso planeta.

Nesta aula aprenderemos um pouco mais sobre os principais poluentes atmosféricos e sobre os efeitos destes no meio ambiente.

Principais causadores da Poluição do Ar

Os gases poluentes são aqueles produzidos, principalmente, pela queima de: combustíveis fósseis (gasolina e óleo diesel), resíduos orgânicos (lixos) e vegetação florestal. Estes gases absorvem parte da radiação infra-vermelha emitida pela Terra, favorecendo o efeito estufa e o aquecimento global.

Os principais gases poluentes da atmosfera são: dióxido de carbono, gás metano, perfluorcarbonetos, óxido nitroso, hidrofluorcarbonetos e ozônio.

Dióxido de Carbono (CO₂) - com moléculas formadas por um átomo de carbono e dois de oxigênio, o CO₂ é um gás proveniente da queima de combustíveis fósseis e matéria orgânica e desflorestamento. Sua concentração na atmosfera do planeta passou de 280 ppm (partes por milhão em volume) no período pré-industrial para 379 ppm em 2005, sendo que o tempo de residência na atmosfera foi apresentado na aula 7, Quadro 2. O potencial de aquecimento global de uma molécula de CO₂ é usado como referência métrica padrão para determinar o potencial de aquecimento global (PAG) dos demais GEEs (gases do efeito estufa). Atualmente, o dióxido de carbono contribui com 60% do efeito estufa no planeta.

Metano (CH₄) - com moléculas formadas por um átomo de carbono e quatro de hidrogênio, o gás metano é gerado por atividades como a pecuária, o cultivo de arroz inundado, a queima de combustíveis fósseis e de biomassa, insumos agrícolas e matéria orgânica em decomposição. Sua concentração na atmosfera passou de 715 ppb (partes por bilhão em volume) no período pré-industrial para 1732 ppb no início dos anos 1990 e chegou a 1774 ppb em 2005. Seu potencial de aquecimento global é 25 vezes maior do que o do dióxido de carbono. Atualmente, o metano contribui com cerca de 15% do efeito estufa do planeta.

Perfluorcarbonetos (PFCs) - usados na produção de equipamentos eletrônicos ou emitidos como subprodutos da produção do alumínio primário, esses gases sintéticos tem alto potencial de aquecimento global, podendo chegar a índices entre 6.500 e 9.200 vezes superiores ao do dióxido de carbono.

Óxido Nitroso (N₂O) - formado por moléculas com dois átomos de nitrogênio e um de oxigênio, esse gás é proveniente de insumos agrícolas como fertilizantes e de atividades de conversão do uso da terra. Sua concentração foi de 270 ppb no período pré-industrial para 319 ppb em 2005. Seu potencial de aquecimento global é cerca de 300 vezes maior que do dióxido de carbono e sua permanência na atmosfera chega a 150 anos. Atualmente, 5% do efeito estufa está relacionado ao N₂O.

Hidrofluorcarboneto (HFC) - Gás sintético formado por átomos de hidrogênio, flúor e carbono, passou a ser adotados com mais intensidade pelo setor industrial a partir dos anos 1990, em substituição aos clorofluorcarbonetos (CFCs) que estavam sendo banidos pelo Protocolo de Montreal, devido a seu impacto para a camada de ozônio. O HFC não afeta essa camada mas tem um impacto ainda maior sobre o efeito estufa, com um potencial de aquecimento global que pode ser de 120 a 12.000 vezes superior o do dióxido de carbono. O HFC pode ficar na atmosfera por até 400 anos.

Ozônio (O₃) - esse gás compõe a camada que protege a Terra dos raios ultra-violeta do sol também atua como agente do efeito estufa. No solo, o ozônio é gerado pela queima de biomassa e pela ação da luz do sol sobre hidrocarbonetos e moléculas Nox. Sua permanência na atmosfera é de no máximo alguns meses, mas contribui com cerca de 8% do efeito estufa. A molécula do ozônio é formada pela ligação entre três átomos de oxigênio.

Além disso, vale também destacar outros gases que apesar da menor concentração na atmosfera, são preocupantes devido à suas características. São eles:

Hexafluoretos - são gases sintéticos caracterizados pela associação do átomo de flúor a outros elementos. Apresentam potencial de aquecimento global altíssimo. Destacam-se o hexafluoreto de enxofre (SF₆) e os perfluorcarbonetos (PFCs).

Hexafluoreto de Enxofre (SF₆) - gás sintético utilizado na geração de eletricidade, na fundição de magnésio e em semicondutores. Seu potencial de aquecimento global pode ser mais de 22 mil vezes superior ao do dióxido de carbono.

Halocarbonetos - no contexto do efeito estufa são gases sintéticos em que todas as ligações do átomo de carbono já estão associados a outros elementos, como cloro, flúor ou bromo. A maioria desses gases aumentaram de um nível próximo de zero no período pré-industrial para concentrações bem maiores, devido às atividades humanas. São os clorofluorcarbonetos (CFCs), hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs) e hidrofluorcarbonetos (HFCs), bromofluorcarbonetos (halônios). Dentre eles, vale destacar os CFCs que eram muito utilizados em sprays, e equipamentos de refrigeração. Sua utilização foi bastante reduzida após 1987, quando foi assinado o Protocolo de Montreal sobre o uso de substâncias químicas para reduzir o buraco sobre a camada de ozônio. Atualmente, contribuem com 12% do efeito estufa do planeta, podendo permanecer na atmosfera de 50 a 100 anos. Seu potencial de aquecimento global é cerca de 10 mil vezes maior que o do CO₂ mas os CFCs também provocam um processo de resfriamento ao destruir o ozônio.

Você Sabia?

Os CFC sofrem fotólise quando submetidos à radiação ultravioleta (presente nos raios solares) formando assim radicais cloro. Estes radicais reagem com o O₃ formando O₂. De uma forma geral podemos escrever: $CFC + Luz + O_3 \rightarrow O_2 + Cl$.

Esse fenômeno causa a destruição na camada de ozônio, o que aumenta a entrada de raios UV na [atmosfera](#) causando grandes problemas como o [câncer](#) de pele, [catarata](#), diminuição do [fitoplâncton](#) e redução das colheitas.

Atividade 1

Os CFCs foram proibidos em alguns países. Quais são os gases utilizados para substituir os CFCs e por que eles são menos nocivos ao meio ambiente?

Efeito Estufa e Aquecimento Global

Uma estufa é um equipamento industrial ou de laboratório que permite obter ambientes com temperaturas mais elevadas que as reinantes no seu exterior. Para os agricultores, a estufa é utilizada para proteger as plantas da ação prejudicial das chuvas, ventos e baixas temperaturas. As estufas foram construídas pela primeira vez em países com invernos muito rigorosos; e são constituídas por uma estrutura fechada por amplos painéis de vidro (ou plástico) e dotada de adequado sistema de ventilação. A Figura 1 apresenta estufas utilizadas para plantio.

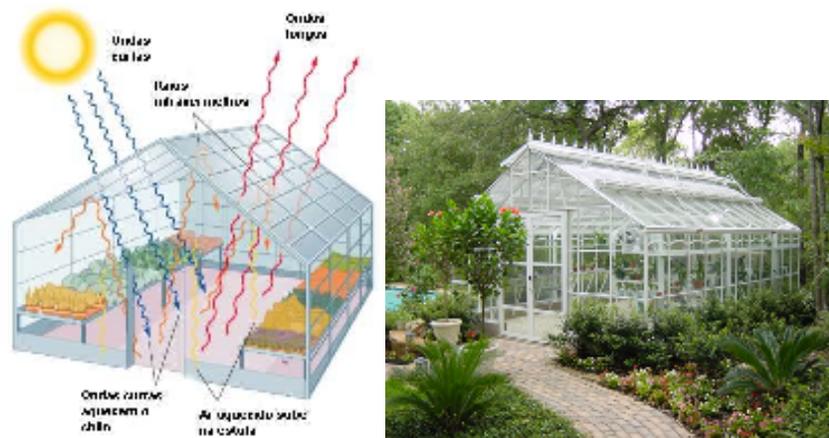


Figura 1. Estufas empregadas para cultivo agrícola

(Fonte:

www.notapositiva.com/trab_estudantes/trab_estudantes/geografia/geografia_trabalhos/efeitoestufa.htm e <http://images.google.com.br/images?hl=pt-BR&q=Estufa+agricola&btnG=Pesquisar+imagens.&gbv>)

O princípio físico de funcionamento de uma estufa é simples: a radiação solar, vinda do exterior, atravessa os vidros e aquece o ambiente (plantas, solo, equipamentos). Esse material irradia o calor retido como radiação infravermelha, que não pode escapar do interior da estufa. A representação de uma estufa é válida para explicar o aumento da temperatura no interior do ambiente e fazemos uma alusão ao efeito estufa, mas precisamos entender e extrapolar este conceito para a atmosfera terrestre. Precisamos compreender quais são os compostos responsáveis pela conversão da energia solar em radiação infravermelha, responsável pelo aumento da temperatura na atmosfera terrestre.

Como vimos no capítulo 7 (Química da Atmosfera), a atmosfera terrestre é formada por vários gases, sendo que os componentes majoritários são o nitrogênio (78%) e o oxigênio (21%). Como componentes minoritários, completando a somatória para 100%, têm-se os gases dióxido de carbono, metano, dióxido de enxofre, óxido nitroso e outros. Gases como o dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso são responsáveis por manter a temperatura do planeta em uma faixa conveniente para abrigar a vida. Essa propriedade é conhecida como efeito estufa.

O CO_2 e o CH_4 são reconhecidamente gases estufa. Como já apresentado, apesar de estar em menores concentrações na atmosfera, o metano tem uma capacidade 20 vezes maior de reter calor do que o CO_2 , resultando em um maior impacto no balanço relacionado ao aquecimento global. Quando a radiação solar, sob forma de luz visível, atinge a superfície terrestre (troposfera terrestre) parte é absorvida e parte é refletida sob a forma de radiação infravermelha, que está associada ao calor. Se a Terra absorvesse toda a energia solar que recebe, sua temperatura atingiria níveis insuportáveis. A atmosfera terrestre tem um papel fundamental no equilíbrio energético, pois permite a passagem de cerca de 70 % da energia solar incidente refletindo de volta 30%. Parte da radiação que atravessa a atmosfera será absorvida, aquecendo o solo, os oceanos e a própria atmosfera, provocando a evaporação (com a formação de nuvens e chuvas), ventos e correntes oceânicas. Nesse processo deve ser estabelecido um equilíbrio e parte do calor produzido, sob forma de radiação infravermelha, deve ser reemitido para o espaço. Entretanto, essa atmosfera que era praticamente transparente à luz solar, não o é com relação à radiação infravermelha. Moléculas como CO_2 , CH_4 , H_2O , O_3 , entre outras, têm estruturas que permite vibrarem em frequências correspondentes às radiações infravermelhas, ou seja, essas moléculas absorvem radiação infravermelha. Isso resulta em maior absorção de calor pela atmosfera e, conseqüentemente, maior reflexão de calor para o solo (Figura 2).

Sem o efeito estufa, durante o dia, a temperatura no solo seria próxima de $20\text{ }^\circ\text{C}$ e na altura da cabeça de um ser humano, a temperatura não passaria de $-10\text{ }^\circ\text{C}$, inviável para a vida na Terra. Os gases estufas funcionam semelhantes a um cobertor usado em uma noite de frio: não é o cobertor que aquece, mas o calor do nosso próprio corpo que fica retido entre o nosso corpo e o cobertor. O acréscimo de gases estufas na atmosfera modifica a quantidade do calor retido pelo planeta da mesma forma que colocar muitos cobertores poderia deixar a temperatura ao nosso redor insuportável.

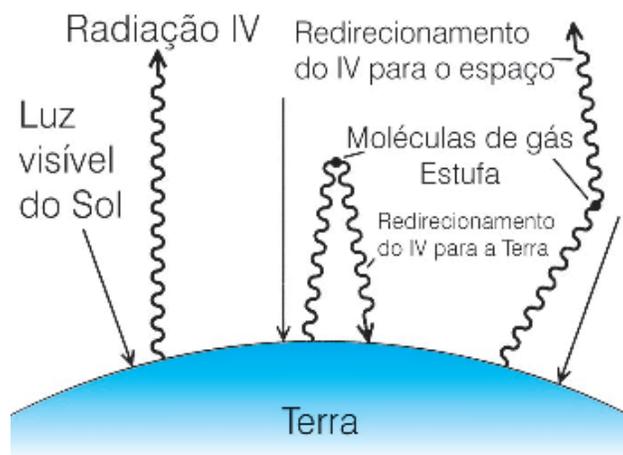


Figura 2. Esquema de funcionamento do efeito estufa (Fonte: Mozeto, A.A., Química atmosférica: a química sobre nossas cabeças, Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, 2001, extraída de Baird, 1998).

Devido à liberação de gás carbônico para a atmosfera, em função de processos industriais (queima de combustíveis fósseis), tem sido observado um aumento na concentração desse gás, o que vem sendo correlacionado com o aumento da temperatura média da atmosfera. Segundo vários pesquisadores, a exacerbação do aquecimento global é um efeito que já vem ocorrendo há algum tempo. Reconhece-se hoje que este efeito é responsável pelo aumento na temperatura da troposfera terrestre de cerca de 2/3 a 1 grau Celsius e que vem ocorrendo desde 1860, ano que marca o início da revolução industrial nos países desenvolvidos da Europa e da América do Norte.

O efeito estufa em si refere-se a uma contenção de calor (representada pelo redirecionamento de radiação IV à superfície terrestre) que é promovido pelas moléculas dos gases estufa (Figura 2). Este fenômeno é o responsável pelo efeito estufa, digamos assim, ‘normal e benéfico’ que existe na Terra, e que tem as moléculas de vapor d’água como principal responsável. No entanto, os efeitos causados pelo aumento exacerbado na concentração de gases estufa como o CO₂, o CH₄ e também o N₂O, podem levar a problemas sérios relacionados ao aquecimento global.

Para o efeito estufa, contrariamente ao mostrado para o buraco de ozônio na atmosfera (que já foi efetivamente detectado), ainda não existem medidas que determinem inequivocamente que ele existe. No entanto, se os modelos matemáticos e computacionais existentes no momento estiverem corretos, significativos aumentos da

temperatura da troposfera deverão ser esperados nas próximas décadas. Deve-se registrar que poderão ocorrer alguns efeitos positivos em algumas regiões do globo, como a atenuação na temperatura em invernos rigorosos ou a distribuição mais abundante e favorável de chuvas, em outras regiões. No entanto, a previsão mais comum é de efeitos negativos, como por exemplo, o alagamento de muitas regiões costeiras do globo devido ao derretimento do gelo das calotas polares (como ao que ocorreria com Bangladesh e Egito, que perderiam até um décimo de seus territórios). Várias outras conseqüências negativas poderiam também advir em muitas outras regiões como longos períodos de secas ou devastações por grandes enchentes com sérias repercussões negativas na produção de alimentos, extinção de espécies, ocorrências de epidemias de doenças transmissíveis por insetos, dentre outras.

Você sabia?

Vários órgãos não governamentais promovem campanhas de preservação do meio ambiente. A WWF (World Wide Fund For Nature, que foi traduzido como Fundo Mundial para a Natureza) atua ativamente em todo o mundo. Atualmente, porém, a sigla WWF tornou-se tão forte internacionalmente que, para evitar confusão ou mensagens equivocadas, não se faz mais tradução para qualquer significado literal. Ou seja, agora a organização é conhecida simplesmente como WWF, uma organização de conservação global. A única exceção é a América do Norte, onde o antigo nome continua a ser usado. (www.wwf.org.br)

O dióxido de carbono tem sido apontado como o grande vilão do efeito estufa, já que sua presença na atmosfera, em grande parte, é devido a atividades humanas. Conforme mencionado anteriormente, na atmosfera atual o teor de CO₂ oscila em torno de 360 ppm, com uma tendência de crescimento que teve seu início no final do século XVIII em decorrência do aumento no uso de combustíveis fósseis. Em termos quantitativos, anualmente cerca de 2.650 bilhões de toneladas de dióxido de carbono são lançadas na atmosfera. Como o tempo médio de residência do CO₂ na atmosfera é de cerca de cem anos, a estabilização ou mesmo a diminuição do teor atmosférico desse gás requer diminuição significativa em sua emissão.

No contexto dos gases estufa, deve-se considerar o metano, que é um gás emitido por diversas fontes, antrópicas (70%) e naturais. As áreas alagáveis ou os

pântanos, ambientes muito reduzidos, são os grandes emissores de metano, embora outras fontes sejam também importantes, como os cupins e a flatulência bovina. O arroz plantado dentro de áreas alagadas é uma atividade que produz muito metano. O gado também é uma fonte de metano significativa, porque os ruminantes digerem o capim em uma parte do estômago chamada rúmen, onde o capim sofre uma pré-digestão com produção de metano. O gado expele o metano produzido para a atmosfera e assim contribui para o aquecimento global. Cada boi libera em média, 58 quilos de metano por ano. Como o rebanho brasileiro é de cerca de 170 milhões de cabeças, a emissão anual é aproximadamente 10 milhões de toneladas de metano. A permanência do metano na atmosfera é de mais de 8 anos. Este gás tem, por molécula, um poder de absorção de radiação infravermelha cerca de 21 vezes maior que o CO₂. No entanto, como o CO₂ encontra-se numa concentração muito maior na atmosfera do que o metano, seu efeito como gás estufa é também maior. Os processos sumidouros de metano na natureza são as interações com o solo, perdas do gás à estratosfera e a mais importante é a reação com radicais hidroxila. Esta última acontece segundo a equação:



O óxido nitroso é produzido por águas poluídas e pela decomposição natural de fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura. É um gás estável e seu tempo de permanência na atmosfera situa-se entre 120-175 anos. Atualmente, o N₂O alcançou concentração próxima a 312 ppb, com uma taxa anual de aumento de 0,25%. O potencial de uma molécula de N₂O em reter calor é cerca de 270 vezes maior que o de uma molécula de CO₂.

O aumento do teor atmosférico dos gases estufa leva a um maior bloqueio da radiação infravermelha e, conseqüentemente, aquecimento da atmosfera e aumento da temperatura da superfície terrestre. O que tem chamado a atenção dos cientistas voltados ao estudo do clima, do ambiente e da ecologia são as modificações que poderão ocorrer em ecossistemas terrestres ou oceânicos. Supondo-se que os níveis de emissão de CO₂ e de outros gases-estufa continuem crescendo e não haja qualquer providência efetiva para estacionar ou reduzir esses valores, alguns efeitos negativos, como os descritos anteriormente, serão inevitáveis.

A emissão de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso proveniente do Brasil e de cada um dos países afeta toda a atmosfera do planeta devido ao elevado tempo de

permanência deles na atmosfera. Dessa forma, não adianta apenas alguns países reduzirem a emissão de gases estufa. O controle da emissão de gases estufas deve ser feito por acordos internacionais, como o de Quioto, com todos os países empenhados em minimizar a emissão desses gases.

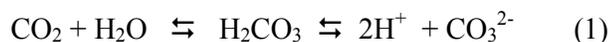
Você sabia?

Protocolo de Quioto constitui-se de um [tratado](#) internacional com compromissos rígidos para a redução da emissão dos gases que agravam o [efeito estufa](#), em pelo menos 5,2% em relação aos níveis de 1990, no período de 2008 a 2012. Discutido e negociado em [Quioto](#) no [Japão](#) em [1997](#), foi aberto para assinaturas em [11 de Dezembro](#) de [1997](#) e ratificado em [15 de março](#) de [1999](#). Para entrar em vigor, precisou que 55% dos países, que juntos, produzem 55% das emissões, o ratificassem, assim entrou em vigor em [16 de fevereiro](#) de [2005](#), depois que a Rússia o ratificou em [Novembro](#) de [2004](#). No ano de 2009 o presidente dos Estados Unidos, Barack Obama, encaminhou o Protocolo de Quioto para ser ratificado pelo Senado.

Chuva Ácida

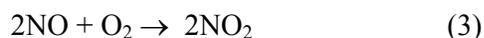
O termo "chuva ácida" refere-se à acidez acentuada produzida na água da chuva pela poluição atmosférica. Este termo foi usado pela primeira vez por Robert Angus Smith, químico e climatologista inglês no século XVIII. Ele usou a expressão para descrever a precipitação ácida que ocorreu sobre a cidade de Manchester no início da Revolução Industrial.

Naturalmente, a chuva é ácida devido à presença de dióxido de carbono (CO₂) na [atmosfera](#) (conforme você pode verificar pela equação 1).



Como o ácido carbônico é um ácido fraco, essa reação não causa uma redução brusca no pH da chuva, sendo este pH de aproximadamente 5,5. Com este pH, a chuva comum não traz nenhum prejuízo ao homem ou à natureza. O problema, é que a poluição atmosférica faz com que o pH da chuva caia para algo entre 5 e 2,2 e se torne extremamente nociva ao homem e à natureza. Isso acontece, pois, diferentemente do CO₂, os óxidos de enxofre (SO₂ e SO₃) e de nitrogênio (N₂O, NO e NO₂) presentes na

atmosfera formam ácidos fortes, aumentando a acidez da água da chuva. As reações que acontecem na atmosfera são representadas pelas equações 2 a 5.



A chuva ácida pode ser transportada através de longas distâncias, podendo cair em locais em que não há fonte de poluentes causadores de chuva ácida. Além da chuva ácida, pode ocorrer também a deposição de partículas (precipitação seca) ou ainda a neve ácida. A figura 3 apresenta um esquema representativo desses fenômenos.

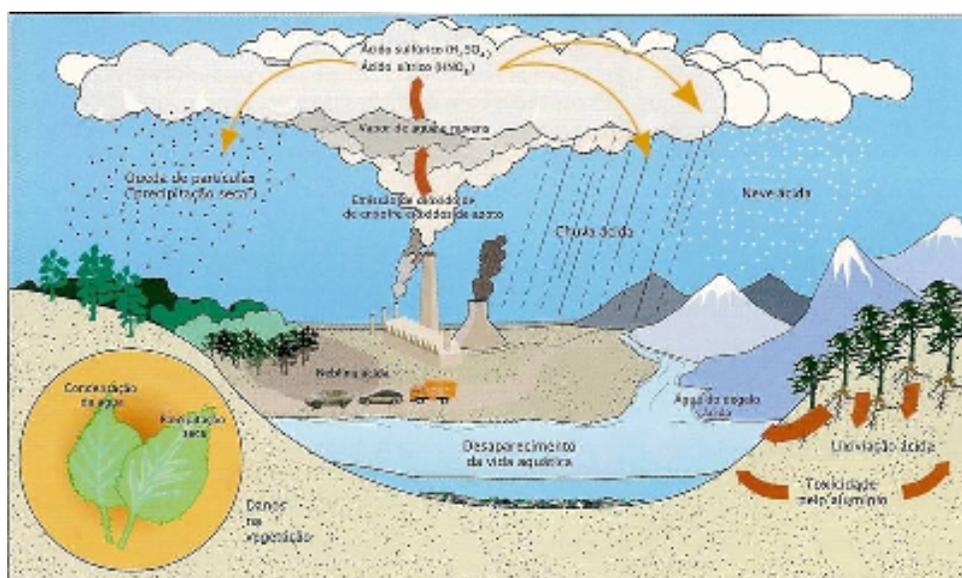


Figura 3 – Esquema representativo dos fenômenos envolvidos na formação de compostos ácidos na atmosfera. Fonte:

<http://blig.ig.com.br/geoambientetrabalhoconsumo/2011/03/01/chuva-acida/>

Como podemos observar na Figura 3, a chuva ácida causa uma série de efeitos no meio ambiente. Discutiremos agora, alguns destes efeitos.

Efeitos sobre as plantas - chuva ácida não é responsável direta da morte das plantas. O que ocorre geralmente é que a planta enfraquece e as suas folhas morrem, limitando assim os nutrientes de que precisa ou envenenando o solo com substâncias tóxicas. A água acidificada dissolve os nutrientes que estão no solo e arrasta-os rapidamente antes

que as plantas os possam utilizar para crescer e ainda pode causar a liberação de algumas substâncias tóxicas como o alumínio no solo, prejudicando sua fertilidade.

Efeitos sobre o ambiente aquático – a maioria dos rios e lagos possuem um pH entre 6,0 e 8,0. O pH dos lagos no entanto pode atingir valores próximos a 5,0 quando os solos e a água não têm a capacidade de neutralizar a chuva ácida. Conseqüentemente grande parte dos organismos que vivem em meios aquáticos podem morrer pela alteração do pH da água. À medida que a acidez dos lagos aumenta os peixes vão desaparecendo. Mesmo que alguns mais resistentes consigam sobreviver, é muito difícil que a sua continuidade esteja assegurada uma vez que os seus ovos não têm hipóteses de eclodir.

Efeitos sobre monumentos e construções - A chuva ácida pode ser responsável pela corrosão de pedra, metal ou tinta. Praticamente todos os materiais são degradados gradualmente pela ação da chuva e do vento. A chuva ácida acelera esse processo, destruindo estátuas, prédios ou monumentos. Muitas cidades históricas têm monumentos degradados e muitas vezes, sua recuperação ou substituição é impossível. Isso ocorre principalmente com monumentos de mármore, cujo principal constituinte é o calcário (Carbonato de cálcio - CaCO_3) que é solubilizado com os ácidos contribuintes da chuva ácida. Na Europa esse problema é muito grave, pela antiguidade das obras expostas a céu aberto. É o chamado Câncer de Pedra, que faz com que seja necessário recolher essas obras de arte, substituí-las por réplicas e somente expô-las em ambientes fechados. Infelizmente, muitas obras de arte e monumentos antigos, já se acham completamente destruídos pela corrosão provocada pelas chuvas ácidas, como podemos observar na Figura 4.



Figura 4 – Estragos causados pela chuva ácida em uma estátua. Fonte: <http://cotidianonaquimica.blogspot.com/2009/09/o-que-e-chuva-acida.html>

Atividade 2

Como discutido, a chuva ácida causa a deterioração de monumentos históricos. Escreva a principal reação que ocorre na solubilização do mármore pela chuva ácida.

As regiões mais afetadas pela chuva ácida são a Europa, a América do Norte e alguns países asiáticos. No Brasil, esse fenômeno ocorre com mais intensidade nas cidades com grande concentração industrial (São Paulo, Cubatão, Rio de Janeiro).

Você Sabia?

O WWF estima que cerca de 35% dos ecossistemas europeus se encontram degradados pelas chuvas ácidas. Entre as principais medidas para a redução desse fenômeno, figura-se o uso de fontes energéticas limpas, como por exemplo, a energia solar e a energia eólica.

Consolidando o Conhecimento

1. A assinatura do Protocolo de Quioto não foi uma tarefa fácil e, ainda hoje, gera polêmica. Discuta as principais restrições econômicas causadas pela redução de gases estufa pelos países ricos ou em desenvolvimento.
2. As moléculas de CO_2 e H_2O absorvem radiação infravermelha (IV). O infravermelho corresponde à radiação eletromagnética de comprimentos de onda (λ) entre 100 mm e 1 mm (3×10^{12} Hz e 3×10^{14} Hz). Explique como ocorre a absorção da radiação IV por essas moléculas.
3. Os problemas causados pela poluição atmosférica têm preocupado cientistas, organizações governamentais e não governamentais. Diante de tudo que foi exposto, apresente 3 sugestões que poderiam minimizar o lançamento de poluentes para a atmosfera, sem causar grandes problemas econômicos ou sociais.

Referências

Tolentino, M., Rocha-Filho, R.C., A química no efeito estufa, Química Nova na Escola, nº8, 1998, 10-14.

www.notapositiva.com/trab_estudantes/trab_estudantes/geografia/geografia_trabalhos/efeitoestufa.htm, acessada em 10/05/2011.

<http://images.google.com.br/images?hl=ptBR&q=Estufa+agricola&btnG=Pesquisar+imagens.&gbv>, acessada em 10/05/2011.

Cardoso, A.A., Química da atmosfera - Atmosfera: a vida no planeta Terra, <http://creativecommons.org.br>, <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/br/legalcode>, acessada em 26/04/2011.

Martins, C.R., Pereira, P.A. de P., Lopes, W.A., Andrade, J.B., Ciclos Globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre: a importância na Química da atmosfera, Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, nº5, 2003, 28-41.

Mozeto, A.A., Química atmosférica: a química sobre nossas cabeças, Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, Ed. Especial, 2001, 41-49.

da Silva, C.N., Lobato, A.C., Lago, R.M., Cardeal, Z.L., de Quadros, A.L., Ensinando a Química do Efeito Estufa no Ensino Médio: Possibilidades e Limites, Química Nova na Escola, 31(4), 2009, 268-274.

http://pt.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Quito, acessada 11/05/2011.

http://www.passeiweb.com/na_ponta_lingua/sala_de_aula/quimica/quimica_inorganica/compostos_inorganicos_oxidos/chuva_acida, acessada em 13/05/2011

<http://cotidianonaquimica.blogspot.com/2009/09/o-que-e-chuva-acida.html>, acessada em 13/05/2011

http://www.suapesquisa.com/o_que_e/gases_poluentes.htm, acessada em 13/05/2011

AULA 9

ENERGIA

Meta

Conhecer as diferentes fontes de energia, suas características, usos e importância mundial.

Objetivos

Com as informações adquiridas ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Conhecer as fontes renováveis e não renováveis de energia;
- Conhecer as vantagens e desvantagens relacionadas às diferentes fontes de energia;
- Estabelecer um panorama da questão energética no Brasil e no mundo;
- Avaliar as possibilidades de minimização dos problemas ambientais oriundos do uso das fontes de energia;
- Comparar criticamente o uso de fontes renováveis e não renováveis de energia.

Introdução

A energia move o mundo!!! Realmente é impossível pensar em um mundo sem energia. A energia pode ser gerada a partir de diversas fontes, que podemos dividir em não-renovável (fontes de carbono fóssil como petróleo, gás natural e carvão mineral) e renovável (energias eólica, hidrelétrica, solar, mareomotriz, obtida a partir de biomassa, etc). Infelizmente, o uso dos recursos energéticos, principalmente dos não renováveis, é um dos principais fatores a afetar o meio ambiente. O aumento da utilização dos combustíveis fósseis observado desde o início da era industrial causou o aumento em torno de 30% da concentração de dióxido de carbono atmosférico e, contribui significativamente para o aumento da temperatura global. Como já comentamos na aula 8, o aquecimento global pode ter consequências desastrosas. A demanda projetada de energia no mundo aumentará 1,7% ao ano, de 2000 a 2030, quando alcançará 15,3 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo por ano, de acordo com o cenário traçado

pelo Instituto Internacional de Economia. A matriz energética mundial tem participação total de 80% de fontes de carbono fóssil, sendo 36% de petróleo, 23% de carvão e 21% de gás natural. O Brasil se destaca entre as economias industrializadas pela elevada participação das fontes renováveis em sua matriz energética. Isso se explica por alguns privilégios da natureza, como uma bacia hidrográfica contando com vários rios de planalto, fundamental a produção de eletricidade (14%), e o fato de ser o maior país tropical do mundo, um diferencial positivo para a produção de energia de biomassa (23%).

Existe uma grande preocupação com a questão energética, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. O esgotamento progressivo das reservas mundiais de petróleo é uma realidade cada vez menos contestada. Em um estudo feito em 2005 pela British Petroleum, determinou que com o consumo atual as reservas mundiais de petróleo durariam em torno de 41 anos, as de gás natural, 67 anos, e as reservas brasileiras de petróleo, 18 anos. Claro que com menor oferta e maior demanda, o preço tende a aumentar, conduzindo assim a uma crise econômica. Considerando então o contexto econômico e ambiental, a busca por formas alternativas de energia é uma necessidade inquestionável.

Discutiremos nesta aula, as principais fontes de energia renováveis e não renováveis utilizadas no Brasil, apresentando suas características, aplicações, vantagens e desvantagens de uso.

Fontes não renováveis de energia

As fontes não renováveis de energia são os combustíveis fósseis (gás natural, petróleo e carvão mineral). A queima de todo combustível fóssil produz CO_2 e contribui para o aquecimento da terra. Como a razão C/H é de aproximadamente 1:1 no carvão, 1:2 no petróleo e 1:4 no metano, a quantidade de CO_2 produzida por kJ de energia diminui na mesma proporção. Por outro lado, o consumo de petróleo é muito maior que de carvão e gás natural, o que faz deste combustível um dos principais contribuintes para a intensificação do efeito estufa, da chuva ácida e da poluição do ar nas zonas urbanas. Discutiremos agora um pouco mais sobre cada um destes combustíveis fósseis.

Gás Natural

O gás natural é uma energia de origem fóssil, resultado da decomposição da matéria orgânica fóssil no interior da Terra, encontrado acumulado em rochas porosas no subsolo, freqüentemente acompanhado por petróleo, constituindo um reservatório. Quimicamente, é uma mistura de hidrocarbonetos leves, que à temperatura ambiente e pressão atmosférica, permanece no estado gasoso. É um gás inodoro e incolor, não é tóxico e é mais leve que o ar. Sua composição pode variar bastante, predominando o gás metano, principal componente, etano, propano, butano e outros gases em menores proporções. Apresenta baixos teores de dióxido de carbono, compostos de enxofre, água e contaminantes, como nitrogênio.

Como está no estado gasoso, o gás natural não precisa ser atomizado para queimar. Sua combustão é completa, com reduzida emissão de poluentes e melhor rendimento térmico o que faz do gás natural uma energia ecológica e não poluente.

O gás natural caracteriza-se por sua eficiência, limpeza e versatilidade. Sua distribuição é feita através de gasodutos e de maneira segura, pois não necessita de estocagem de combustível e por ser mais leve do que o ar, se dispersa rapidamente na atmosfera em caso de vazamento.

Você Sabia?

O gasoduto é uma rede de tubulações que leva o gás natural das fontes produtoras até os centros consumidores. O gasoduto Bolívia-Brasil transporta o gás proveniente da Bolívia para atender os Estados de Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

O gás natural, depois de tratado e processado, é utilizado largamente em residências, no comércio, em indústrias e em veículos. Nos países de clima frio, seu uso residencial e comercial é predominantemente para aquecimento ambiental. Já no Brasil, esse uso é quase exclusivo em cocção de alimentos e aquecimento de água. Na indústria, o gás natural é utilizado como combustível para fornecimento de calor, geração de eletricidade e de força motriz, como matéria-prima nos setores químico, petroquímico e de fertilizantes, e como redutor siderúrgico na fabricação de aço. Na área de transportes, é utilizado em ônibus e automóveis, substituindo o óleo diesel, a gasolina e o álcool.

Essa fonte de energia é altamente valorizada em consequência da progressiva conscientização mundial da relação entre energia e o meio ambiente.

Petróleo

O petróleo é considerado uma fonte de energia não renovável, de origem fóssil e é matéria prima da indústria petrolífera e petroquímica. É uma substância oleosa, [inflamável](#), geralmente menos [densa](#) que a [água](#), com cheiro característico e coloração que pode variar desde o incolor ou castanho claro até o preto, passando por verde e marrom. Trata-se de uma combinação complexa de [hidrocarbonetos](#), composta na sua maioria de hidrocarbonetos alifáticos, alicíclicos e aromáticos, podendo conter também quantidades pequenas de [nitrogênio](#), [oxigênio](#), compostos de [enxofre](#) e íons metálicos, principalmente de [níquel](#) e [vanádio](#). A distribuição percentual de hidrocarbonetos é que define os diversos tipos de petróleo existentes no mundo.

O petróleo ocorre em muitas partes do mundo: extensos depósitos têm sido encontrados no golfo Pérsico, nos Estados Unidos, no Canadá, na Rússia (nos Urais e na Sibéria ocidental), na Líbia, no delta do rio Níger, na Venezuela, no golfo do México e no mar do Norte.

É encontrado na natureza nos poros das rochas, chamadas de rochas reservatórios. Permeabilidade e porosidade são duas propriedades importantes para essas rochas reservatórios e são encontradas principalmente em rochas sedimentares, motivo pelo qual as bacias sedimentares são os principais locais de ocorrência. Porosidade é uma característica física, definida como o percentual entre volume vazio e o volume total das rochas. Permeabilidade é a característica física relacionada com a intercomunicação entre os espaços vazios, e permite que ocorra a vazão de fluidos no meio poroso. Na natureza as rochas sedimentares são as mais porosas, e quando possuem permeabilidade elevada, formam o par ideal para a ocorrência de reservatórios de petróleo economicamente exploráveis.

Existem reservatórios de petróleo em diversas profundidades, sendo que os mais rasos (- 10 m que podem ser explorados por mineração) são os mais pastosos e com predominância na composição com hidrocarbonetos de cadeias carbônicas pesadas (graxas), e os mais leves se encontram em grandes profundidades (na faixa de - 2.500 m a - 5.000 m).

As frações leves do petróleo formam os gases e as frações pesadas o óleo cru. O petróleo após ser purificado e processado, é usado como combustível primário em

máquinas de combustão interna, sendo de grande importância para o homem. Como já comentando, atualmente, o petróleo fornece uma grande parte da energia mundial utilizada no transporte e é a principal fonte de energia para muitas outras finalidades. O petróleo tornou-se fonte de milhares de produtos petroquímicos.

O petróleo é um produto de grande importância mundial, estando presente em nosso cotidiano. É difícil determinar alguma coisa que não dependa direta ou indiretamente do petróleo. Os solventes, óleos combustíveis, gasolina, óleo diesel, querosene, gasolina de aviação, lubrificantes, asfalto, plástico entre outros são os principais produtos obtidos a partir do petróleo.

De acordo com a predominância dos hidrocarbonetos encontrados no óleo cru, o petróleo é classificado em:

Parafínicos - quando existe predominância de hidrocarbonetos parafínicos. Este tipo de petróleo produz subprodutos com as seguintes propriedades:

- Gasolina de baixo índice de octanagem.
- Querosene de alta qualidade.
- Óleo diesel com boas características de combustão.
- Óleos lubrificantes de alto índice de viscosidade, elevada estabilidade química e alto ponto de fluidez.
- Resíduos de refinação com elevada percentagem de parafina.
- Possuem cadeias retilíneas.

Naftênicos - quando existe predominância de hidrocarbonetos naftênicos. O petróleo do tipo naftênico produz subprodutos com as seguintes propriedades principais:

- Gasolina de alto índice de octanagem.
- Óleos lubrificantes de baixo resíduo de carbono.
- Resíduos asfálticos na refinação.
- Possuem cadeias em forma de anel.

Mistos - quando possuem misturas de hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos, com propriedades intermediárias, de acordo com maior ou menor percentagem de hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos.

Aromáticos - quando existe predominância de hidrocarbonetos aromáticos. Este tipo de petróleo é raro, produzindo solventes de excelente qualidade e gasolina de alto índice de octanagem. Não se utiliza este tipo de petróleo para a fabricação de lubrificantes.

ATIVIDADE 1

O que são hidrocarbonetos naftênicos e parafínicos?

Chegando às refinarias, o petróleo cru é analisado para se determinar suas características e definir os processos a que será submetido para obter-se determinados subprodutos.

Os principais produtos provenientes do processo de refinação são: gás combustível, GLP, gasolina, nafta, querosene, óleo diesel, óleos lubrificantes, óleos combustíveis, matéria-prima para fabricar asfalto e parafina.

Carvão Mineral

O carvão mineral foi formado pelos restos soterrados de plantas tropicais e subtropicais, especialmente durante [períodos Carbonífero](#) e [Permiano](#). Gradualmente, estes materiais ao sofrerem soterramento e compactação em bacias de deposição, apresentaram enriquecimento no teor de carbono. Fatores externos, tais como pressão, temperatura, tectônica e tempo de exposição, determinam o grau de carbonificação destes combustíveis.

Os carvões minerais são classificados de acordo com o seu conteúdo de carbono fixo, cuja proporção aumenta à medida que o minério se forma. Os principais tipos de carvão em ordem crescente de carbono fixo são:

Linhito – apresenta o menor teor de carbono fixo, se desgasta rapidamente, pode incendiar-se espontaneamente e tem baixo valor calorífico. É utilizado principalmente na [Alemanha](#) e na [Austrália](#).

Sub-betuminoso - utilizado principalmente em estações geradoras, contém cerca de 40% de carbono fixo.

Betuminoso – é o tipo mais comum, sendo transformado frequentemente em coque pelo amplo emprego industrial.

Antracito - carvão lustroso com cerca de 80% de carbono fixo. Apresenta combustão lenta sendo excelente para uso doméstico.

Empregam-se, em geral, dois métodos para determinar a composição dos carvões: a "análise elementar", estabelece as porcentagens totais dos elementos presentes ([carbono](#), [hidrogênio](#), [oxigênio](#), [enxofre](#) e [nitrogênio](#)); e a "análise aproximada" fornece uma estimativa empírica das quantidades de umidade, cinza e materiais voláteis, e de carbono fixo.

A queima de carvão para obtenção de [energia](#) produz efluentes altamente tóxicos como por exemplo o [mercúrio](#) e outros metais pesados como [vanádio](#), [cádmio](#), [arsênio](#) e [chumbo](#). Além disso, ocorre uma grande liberação de [dióxido de carbono](#) e dióxido de enxofre na atmosfera agravando o [aquecimento global](#) e contribuindo para a [chuva ácida](#).

Apesar do consumo mundial de carvão mineral estar declinante desde o início dos anos 90, no final de 1994 começou a ser verificadas retomadas no mercado internacional. O crescimento do mercado envolveu os volumes produzidos e consumidos pelos diversos países, além dos preços específicos do mercado. A produção mundial em 1994 indicou um aumento de 1,2% em seus volumes totais. Foram produzidas aproximadamente 4,45 bilhões de toneladas métricas de todos os tipos de carvões minerais. Os maiores produtores são a [China](#) (45,6%) e os [Estados Unidos](#) (15,8%).

Fontes renováveis de energia

Energia Hidrelétrica

Hidroeletricidade é a [energia elétrica](#) obtida através do aproveitamento da [energia potencial gravitacional](#) de água, contida em uma [represa](#) elevada. A [potência](#) gerada é proporcional à altura da queda de água e à [vazão](#) do líquido. A energia de origem hídrica é hoje a segunda maior fonte de eletricidade no mundo.

Para obtenção de hidroeletricidade, normalmente constroem-se diques que represam o curso da água, acumulando-a num reservatório a que se chama barragem.

Esse tipo de usina hidráulica é denominado Usina com Reservatório de Acumulação. Em outros casos, existem diques que não param o curso natural da água, mas a obrigam a passar pela turbina de forma a produzir eletricidade, denominando-se Usinas a Fio de Água.

Quando as comportas da barragem são abertas, a água do reservatório passa pelas lâminas da turbina fazendo-a girar. A partir do movimento de rotação da turbina o processo repete-se, ou seja, o gerador ligado à turbina transforma a energia mecânica em eletricidade. A energia elétrica gerada é levada através de cabos ou barras condutoras dos terminais do gerador até o transformador elevador, onde tem sua tensão (voltagem) elevada para adequada condução, através de linhas de transmissão, até os centros de consumo. Desta forma, através de transformadores abaixadores, a energia tem sua tensão levada a níveis adequados para o consumo.

As características físicas e geográficas do Brasil foram fundamentais para implantação de um parque gerador de energia elétrica de base predominantemente hídrica. O Brasil é um país privilegiado em recursos hídricos, e altamente dependente da energia hídrica, sendo que cerca de 95% da energia elétrica brasileira provém de rios. Como já vimos na aula 1, o Brasil detém 15% das reservas mundiais de água doce disponível, porém só utiliza um quarto de seu potencial.

As principais vantagens relacionadas ao seu uso são: (i) é uma [energia](#) não poluente e [renovável](#), pois não queima nenhum tipo de [combustível](#); (ii) a [água](#) das [barragens](#) pode ser utilizada para a [irrigação](#) de [lavouras](#), melhorando a [produtividade](#) agrícola no decorrer do ano, além de prevenir inundações; (iii) nas imediações das barragens a água do reservatório pode ainda ser utilizada para a criação de espaços públicos de lazer e de prática de esportes, como ocorre em vários locais do Brasil.

Como desvantagens podemos citar a a [inundação](#) de grandes áreas, que ocorre em alguns casos. Essa inundação contribui para o aumento do [efeito estufa](#), já que árvores submersas podem produzir [gases tóxicos](#), e para o deslocamento de populações. A construção das grandes usinas pode ainda tornar-se cara e demorada. Para evitar o problema do impacto ambiental, o [Conselho Nacional do Meio Ambiente \(CONAMA\)](#) criou a resolução nº 347, de [10 de setembro](#) de [2004](#), que obriga as construções de usinas hidrelétricas a terem uma compensação ecológica.

Você Sabia?

A Usina de Tucuruí (Figura 1), localizada no Rio Tocantins (PA), constitui-se numa das maiores obras da engenharia mundial e é a maior usina brasileira em potência instalada com 8.000 MW, já que a Usina de Itaipu é binacional (Brasil e Paraguai).



Figura 1- Foto da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, localizada no Rio Tocantins (PA).

Fonte: <http://www.interconnect.com.br/clientes/pontes/pmt/hidro.htm>

Etanol

É o mais comum dos alcoóis ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), sendo obtido através da fermentação de substâncias amiláceas ou açúcares, como a sacarose existente no caldo-de-cana, podendo também ser obtido através da fermentação da biomassa, após uma etapa de hidrólise (etanol de segunda geração). É um líquido incolor, volátil, inflamável, solúvel em água, com cheiro e sabor característicos.

O álcool etílico é utilizado como combustível desde o nascimento dos automóveis, na tentativa de adaptar os motores recém inventados para a utilização do etanol. Desde então e até nos dias de hoje, o uso do etanol em veículos automotores tem tido um considerável avanço.

Existem diversas utilizações para o álcool etílico como: produção de bebidas alcoólicas, aplicações na indústria química e farmacêutica, combustível veicular e a produção de energia elétrica.

Como combustível para automóveis, o álcool tem a vantagem de ser uma fonte de energia renovável e menos poluidora que os derivados do petróleo, o que possibilitou o desenvolvimento de uma tecnologia 100% nacional, o PROÁLCOOL. Além de ser uma fonte renovável, o álcool é também menos inflamável, menos tóxico que a gasolina e o diesel.

Você Sabia?

O **PROÁLCOOL** foi um programa bem-sucedido de substituição em larga escala dos derivados de petróleo criado em 1975. Foi desenvolvido para evitar o aumento da dependência externa de divisas quando dos choques de preço de petróleo.

Apesar das vantagens, existem problemas que precisam ser resolvidos para que o álcool torne-se realmente uma alternativa sócio e ambientalmente sustentável. Esses problemas estão relacionados à monocultura da cana-de-açúcar, à condição social e trabalhista da mão de obra empregada, ao processo primitivo de colheita que obriga a queima da cana, entre outros. A queima da palha do canavial visa reduzir custos, entretanto tem conseqüências desastrosas para o ambiente. Vários estudos afirmam que a queima libera gás carbônico, ozônio, gases de nitrogênio e de enxofre (responsáveis pelas chuvas ácidas), liberam também a indesejada fuligem da palha queimada (que contém substâncias cancerígenas) e provocam perdas significativas de nutrientes do solo. As internações por problemas respiratórios, intoxicações e asfixias aumentam consideravelmente durante a "safra" da fuligem. O lançamento dos efluentes do processo (vinhaça) sem tratamento em rios também pode trazer grandes prejuízos para o meio ambiente. A implementação dessas mudanças requer investimentos que podem causar um aumento no preço do etanol, fazendo com que o mesmo não seja competitivo com os combustíveis fósseis.

Biodiesel

Combustível renovável composto de mono-alquilésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais. O Biodiesel é fabricado através de um processo químico chamado transesterificação onde a glicerina é separada da gordura ou do óleo vegetal. O processo gera dois produtos, ésteres (biodiesel) e glicerina (produto valorizado no mercado de sabões).

O biodiesel pode ser produzido a partir de diversas matérias-primas, tais como óleos vegetais, gorduras animais, óleos e gorduras residuais. Pode também, ser usado puro ou em mistura de diversas proporções com o diesel mineral.

ATIVIDADE 2

Escreva a reação de transesterificação utilizada para produção de biodiesel e indique quais as são as possíveis variações que podem haver nesta reação (tipo de catalisador, tipo de solvente).

A mistura entre o biodiesel e o diesel mineral é conhecida pela letra B, mais o número que corresponde a quantidade de biodiesel na mistura. Por exemplo, se uma mistura tem 5% de biodiesel, é chamada B5, se tem 20% de biodiesel, é B20. Atualmente o biodiesel vendido nos postos pelo Brasil possui obrigatoriamente 5% de biodiesel e 95% de diesel (B5). O biodiesel só pode ser usado em motores a diesel, portanto este combustível é um substituto do diesel.

Algumas fontes para extração de óleo vegetal que podem ser utilizadas: mamona, dendê, babaçu, girassol, algodão, amendoim, canola, pinhão manso e de nabo forrageiro. Embora algumas plantas nativas apresentem bons resultados em laboratórios, como o pequi, o buriti e a macaúba, sua produção é extrativista e não há plantios comerciais que permitam avaliar com precisão as suas potencialidades. Isso levaria certo tempo, uma vez que a pesquisa agropecuária nacional ainda não desenvolveu pesquisas com foco no domínio dos ciclos botânico e agrônômico dessas espécies. Entre as gorduras animais, destacam-se o sebo bovino, os óleos de peixes, o óleo de mocotó, a banha de porco, entre outros. Os óleos e gorduras residuais, resultantes de processamento doméstico, comercial e industrial também podem ser utilizados como matéria-prima.

A diversidade de matérias-primas, processos e usos é uma grande vantagem, mas cada caso precisa ser analisado de acordo com as suas especificidades. A utilização deste biocombustível depende, entre outros fatores, de uma relação positiva entre a energia consumida no processo de produção e a energia disponibilizada pelo

combustível produzido. Por exemplo, no caso do etanol produzido a partir da cana-de-açúcar, essa relação é de 8,3:1. Comparativamente, nos EUA, o etanol tem uma relação de apenas 1,3:1. No Brasil, alguns estudos efetuados para fins de biodiesel indicam uma relação de 1,4:1 no caso da soja, de 5,6:1 no caso do dendê, e de 4,2:1 para a macaúba, o que confirma o potencial das palmáceas como fonte de matéria-prima, ou seja, maior produtividade e disponibilidade de resíduos de valor energético.

Tanto o biodiesel como o etanol liberam CO₂ para o meio ambiente durante a queima. Entretanto, não alteram significativamente o conteúdo de CO₂ na atmosfera, já que o CO₂ liberado é consumido na produção da biomassa. Desta forma, o uso do biodiesel reduz as emissões associadas ao diesel de base fóssil. Trata-se de um produto não tóxico e biodegradável. Estudos europeus com o diesel produzido da canola, concluíram que comparado ao diesel, o biodiesel puro reduz as emissões de gases de efeito estufa em 40 – 60%. As reduções no Brasil, a partir da soja, devem ser próximas a isso.

Energia Eólica

A energia eólica é a energia obtida pelo movimento do ar (vento). É uma abundante fonte de energia, renovável, limpa e disponível em todos os lugares.

A quantidade de energia disponível no vento varia de acordo com as estações do ano e as horas do dia. A avaliação precisa do potencial de vento em uma região é o primeiro e fundamental passo para o aproveitamento do recurso eólico como fonte de energia.

Os moinhos de vento foram inventados na Pérsia no séc. V. Eles foram usados para bombear água para irrigação. Os mecanismos básicos de um moinho de vento não mudaram desde então: o vento atinge uma hélice que ao movimentar-se gira um eixo que impulsiona uma bomba (gerador de eletricidade). Atualmente são utilizados aerogeradores (Figura 2) que consistem de um gerador elétrico movido por uma hélice, que por sua vez é movida pela força do vento. A hélice pode ser vista como um motor a vento, cuja a quantidade de eletricidade que pode ser gerada pelo vento depende de quatro fatores: (i) da quantidade de vento que passa pela hélice; (ii) do diâmetro da hélice; (iii) da dimensão do gerador e (iv) do rendimento de todo o sistema.



Figura 2 - Parque Eólico Modelo de 1,2 MW do Mucuripe, Fortaleza. A altura da torre é de 40 m e diâmetro das pás de 33 m. Fonte: <http://www.sfiec.org.br/artigos/energia>

No mundo existem 30 mil turbinas eólicas de grande porte em operação, com capacidade instalada da ordem de 13.500 MW. A energia eólica pode garantir 10% das necessidades mundiais de eletricidade até 2020, pode criar 1,7 milhão de novos empregos e reduzir a emissão global de dióxido de carbono na atmosfera em mais de 10 bilhões de toneladas. Os países que mais utilizam esse tipo de energia são Alemanha, Dinamarca, Estados Unidos, Índia e Espanha.

No Brasil, o uso da energia eólica está em crescimento. A produção de eletricidade a partir da fonte eólica alcançou 602,3 MW em 2009. Isto representa um aumento de 4,7% em relação do ano anterior. Neste cenário, o estado do Ceará destaca-se por ter sido um dos primeiros locais a realizar um programa de levantamento do potencial eólico, que já é consumido por cerca de 160 mil pessoas. O Rio Grande do Sul também tem usinas eólicas em funcionamento. Existe também previsão de construção de mais usinas no Paraná, Santa Catarina, Minas Gerais, litoral do Rio de Janeiro e de Pernambuco e na ilha de Marajó, o que aumentará significativamente a contribuição da energia eólica na matriz energética brasileira.

Como já comentado, a energia eólica é totalmente limpa, pois não queima combustíveis fósseis e não emite poluentes para a atmosfera. Entretanto, fazendas eólicas causam outros impactos, tais como: (i) alteram paisagens com suas torres e hélices; (ii) podem ameaçar pássaros se forem instaladas em rotas de migração; (iii) emitem um certo nível de ruído (de baixa frequência), que pode causar algum incômodo

e (iv) podem causar interferência na transmissão de televisão. Outro fator a ser considerado é o alto custo dos geradores eólicos, porém o vento é uma fonte inesgotável de energia e as plantas eólicas têm um retorno financeiro a um curto prazo.

Energia Nuclear

A energia nuclear é atualmente a alternativa mais desenvolvida para substituir a energia suprida pelos combustíveis fósseis. Com exceção da energia geotermal, é a única forma significativa de energia na face da Terra que não está relacionada, direta ou indiretamente, ao sol.

A energia nuclear provém da fissão nuclear do urânio, do plutônio ou do tório ou da fusão nuclear do hidrogênio. É energia liberada dos núcleos atômicos, quando os mesmos são levados por processos artificiais, a condições instáveis. A fissão ou fusão nuclear são fontes primárias que levam diretamente à energia térmica, à energia mecânica e à energia das radiações, constituindo-se na única fonte primária de energia que tem essa diversidade na Terra.

Apesar de polêmica, a geração da energia nucleoe elétrica é responsável pelo atendimento de 18% das necessidades mundiais de eletricidade. No Brasil, para atender as possíveis necessidades futuras, em 1972 foi iniciada a construção de Angra I, mas só em 1985 a usina entrou em operação comercial. Angra I tem 657 MW de potência. Funciona com reator de água pressurizada, moderado e refrigerado a água com prédio de contenção e para garantir a segurança são realizados vários controles, além de testes periódicos de rotina garantem a proteção contra acidentes com liberação de radioatividade para o meio ambiente. Em junho de 2000, Angra II entrou em operação, com potência de 1.309 Mw e Angra III tem previsão de entrar em operação em 2013. Atualmente a energia nuclear corresponde a 1,7% da produção nacional de energia.

Os problemas ambientais estão relacionados com os acidentes que ocorrem nas usinas e com o destino do chamado lixo atômico - os resíduos que ficam no reator, local onde ocorre a queima do urânio para a fissão do átomo. Por conter elevada quantidade de radiação, o lixo atômico tem que ser armazenado em recipientes metálicos protegidos por caixas de concreto, que posteriormente são lançados ao mar. Os acidentes são devidos à liberação de material radioativo de dentro do reator, ocasionando a contaminação do meio ambiente, provocando doenças como o câncer e também morte

de seres humanos, de animais e de vegetais. Isso não só nas áreas próximas à usina, mas também em áreas distantes, pois ventos e nuvens radioativas carregam parte da radiação para áreas bem longínquas, situadas a centenas de quilômetros de distância.

Você Sabia?

Em abril de 1986 ocorre o maior acidente nuclear da história, quando um dos quatro reatores da usina nuclear soviética de Chernobyl explode, lançando na atmosfera imensa uma nuvem radioativa cobrindo todo o centro-sul da Europa. O acidente de Chernobyl teve 400 vezes mais radiação do que a bomba atômica de [Hiroshima](#) no [Japão](#), após a [Segunda Guerra Mundial](#). Hoje, especula-se que cerca de 980.000 pessoas morreram de causas associadas à radioatividade.

Considerações gerais

Abordamos nesta aula apenas as fontes de energia mais utilizadas no Brasil. Além destas, várias outras podem ser utilizadas: energia solar, termoelétrica, queima de biomassa, mareomotriz, geotérmica, entre outras. Quanto mais diversificada for a matriz energética de um país, melhor pois ele terá maior auto-suficiência em termos energéticos. Neste aspecto, o Brasil é um país privilegiado, como já verificamos durante essa aula.

Outra questão importante é como essa energia tem sido consumida. Além de investimentos para produção de mais energia, é necessário também que se faça um uso mais racional desta energia. Como exemplo, abordaremos aqui o transporte de carga e de passageiros, que é um tema complexo e controverso em nosso país. O transporte constitui um setor energético particularmente importante, devido a sua alta taxa de consumo de energia e ao uso intensivo de combustíveis fósseis. O transporte por caminhão consome cerca de 10 vezes mais energia por tonelada transportada que o transporte por navio ou trem. Infelizmente, o transporte de cargas no Brasil é feito majoritariamente por caminhões, que poluem mais, pois utilizam diesel como combustível (atualmente 95% de diesel e 5% de biodiesel, como já comentado) e assim apresentam

uma grande contribuição no aquecimento global e nas mudanças climáticas. Se pensarmos agora no transporte de passageiros: o transporte público (ônibus municipal e intermunicipal, metro) consome muito menos energia por passageiro transportado que o transporte em automóveis. Entretanto, as condições do transporte público no Brasil não favorecem a sua utilização e o que vemos são milhares de carros nas ruas todos os dias, na maioria das vezes transportando 1 ou 2 pessoas.

Desta forma, além de investimentos na produção de energia limpa, o governo deve investir também no transporte ferroviário e hidroviário para cargas e no transporte público. O meio ambiente agradece!!!!

Consolidando o conhecimento

- 3) Nesta aula você aprendeu um pouco sobre as principais fontes de energia, bem como a vantagens e desvantagens associadas a essas fontes. De acordo com o que foi apresentado e considerando também seu conhecimento sobre esse tema atual, qual a fonte de energia mais vantajosa para o Brasil, se considerarmos os aspectos ambientais e econômicos. Apresente as justificativas para a sua escolha.

Referências

Rocha, J.C.; Rosa, A.H.; Cardoso, A.A. **Introdução à Química Ambiental**, Editora Bookman, Porto Alegre, 2ª edição, 2009.

Spiro, T.G.; Stigliani, W.M. **Química Ambiental**, Editora Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2ª edição, 2009.

Ministério de Minas e Energia, **BEN-2010 – Balanço Energético Nacional**, Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2010, 276 p.

<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia.html> acessado em 05/05/2011.

AULA 10

LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

Meta

Conhecer a legislação ambiental brasileira e sua importância para a preservação do meio ambiente.

Objetivos

Com as informações adquiridas ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Saber como e a partir de quando surgiu a legislação ambiental brasileira;
- Conhecer as principais leis e resoluções que regulamentam a área ambiental no Brasil;
- Conhecer a estrutura do Sistema Nacional do Meio Ambiente;
- Comparar criticamente as Resoluções relacionadas ao meio ambiente.

Introdução

O Meio Ambiente sofreu, por muito tempo, com a atividade predatória do homem, que estimulado por sua ganância, retirou de forma irresponsável, sem controle ou planejamento, muitas riquezas naturais. Até certo tempo atrás, não se pensava em preservar o meio ambiente para as gerações futuras, considerando-se muitas vezes que os recursos naturais seriam infinitos. Como o passar do tempo, a grande degradação e poluição ambiental causaram uma resposta catastrófica da natureza e o que se observa hoje são os vários problemas que já foram discutidos nas aulas anteriores. Infelizmente, apenas nas últimas décadas, os Governos mundiais passaram a se preocupar com meios legais de defesa contra a degradação ambiental e neste contexto surgiu a legislação ambiental.

Legislação ambiental é o conjunto de normas jurídicas que se destinam a disciplinar a atividade humana, para torná-la compatível com a proteção do meio ambiente. A preocupação e/ou conscientização por parte do poder público, em países desenvolvidos e em alguns em desenvolvimento, se dá a partir da década de 60. No

Brasil, as leis voltadas para a conservação ambiental começaram a ser votadas a partir de 1981, com a lei que criou a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981). Nesta aula discutiremos um pouco sobre essa lei e também sobre as principais leis que normatizam a legislação ambiental brasileira.

Política Nacional do Meio Ambiente

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio - econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana (art. 2º, da Lei Federal nº 6.938/81).

Para atingir os objetivos da PNMA, a Lei nº 6.938 estabelece os seguintes princípios: (i) ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, (ii) racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar, (iii) planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais, (iv) proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas, (v) controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras, (vi) incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias, (vii) acompanhamento do estado, da qualidade ambiental, (viii) recuperação de áreas degradadas, (ix) proteção de áreas ameaçadas de degradação e (x) educação ambiental a todos os níveis de ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente.

Para um melhor entendimento, algumas definições são estabelecidas no art. 3º da Lei nº 6.938:

Meio Ambiente – conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas.

Degradação da Qualidade Ambiental – alteração adversa das características do meio ambiente.

Poluição - degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que, direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem - estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;

e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Poluidor - pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental.

Recursos Ambientais - a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo e os elementos da biosfera, a fauna e a flora.

O Art 4º detalha os objetivos da Política Nacional do Meio Ambiente, que visará: à compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico, à difusão de tecnologias de manejo do meio ambiente, à divulgação de dados e informações ambientais, à formação de uma consciência pública sobre a necessidade da preservação ambiental e do equilíbrio ecológico, à preservação e restauração dos recursos ambientais com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida, à imposição, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.

Nesta lei também foi estabelecida a estrutura do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA):

- Órgão superior: o Conselho de Governo;
- Órgão consultivo e deliberativo: o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA);
- Órgão central: a Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República;
- Órgão executor: o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA);
- Órgãos Seccionais: os órgãos ou entidades estaduais de meio ambiente;
- Órgãos Locais: os órgãos ou entidades municipais de controle e fiscalização ambiental.

Como podemos observar todos os órgãos que estabelecem normas jurídicas (leis, decretos, resoluções e portarias) e que realizam a fiscalização destas, fazem parte do SISNAMA.

Você Sabia?

- **LEI:** Preceito que deriva do poder legislativo.
- **DECRETO:** Determinação escrita emanada do chefe do estado, governo ou de outra autoridade superior. Ordenação com força de lei e não feita no parlamento.
- **RESOLUÇÃO:** Ato ou efeito de resolver. Deliberação, decisão
- **PORTARIA:** Diploma ou julgamento oficial assinado por um ministro, em nome do chefe de estado.

Em Minas Gerais, a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) é a responsável pela execução política de proteção, conservação e melhoria da qualidade ambiental.

Os padrões de qualidade ambiental, o zoneamento ambiental, a avaliação de impactos ambientais, o licenciamento e revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras e a instituição do Relatório de Qualidade do Meio Ambiente a ser divulgado anualmente pelo IBAMA também são estabelecidos na PNMA, no art. 9º da Lei nº 6.938/81.

Outro ponto importante desta lei é o art. 10º que determina que a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades que utilizem recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento de órgão estadual competente, integrante do SISNAMA, e do IBAMA.

Licenciamento Ambiental

O licenciamento ambiental pode ser dividido em três etapas: licença prévia (LP), licença de instalação (LI) e licença de operação (LO). Cada etapa depende da aprovação da etapa anterior. Para a obtenção do licenciamento ambiental é necessário a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e de seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

No EIA/RIMA é apresentado o detalhamento de todos os levantamentos técnicos onde se avaliam, de forma imparcial e meramente técnica, os impactos ambientais decorrentes de um determinado projeto, bem como as medidas mitigadoras. Essa exigência teve como base a Lei Federal n.º 6.938/81, e foi regulamentada pelo Decreto Federal n.º 99.274/90, tornando-se uma exigência nos Órgãos Ambientais brasileiros a partir da Resolução do CONAMA n.º 001 de 23/01/86.

O EIA/RIMA está vinculado à Licença Prévia, por se tratar de um estudo prévio dos impactos que poderão vir a ocorrer, com a instalação e/ou operação de um dado empreendimento e deverá ser elaborado por uma equipe técnica multi e interdisciplinar que se responsabilize pelos diversos assuntos referentes aos meios físico, biológico e sócio-econômico da área onde será instalado o empreendimento. Quando da Licença de Instalação, poderá ainda, em atendimento à Resolução do CONAMA n.º 006/87, para as Usinas Hidrelétricas, Termelétricas e Linhas de Transmissão, ser exigido o Projeto Básico Ambiental – PBA, o qual apresenta em detalhes como e quando serão executadas as medidas mitigadoras e compensatórias propostas e aprovadas no EIA/RIMA.

Os principais empreendimentos sujeitos à exigência de estudo e respectivo relatório de impacto ambiental conforme previsto na Resolução n.º 001/86 são: rodovias; ferrovias; portos e terminais de minério, petróleo e produtos químicos; aeroportos; oleodutos, gasodutos, minerodutos; troncos coletores e emissários de esgoto sanitários; linha de transmissão de energia elétrica acima de 230 kW; obras hidráulicas para exploração de recursos hídricos, tais como: barragem para fins hidrelétricos, acima de 10 MW, de saneamento ou de irrigação; abertura de canais para navegação, drenagem e irrigação; retificação de cursos d'água; abertura de barras e embocaduras; transposição de bacias, diques; extração de combustível fóssil; extração de minério; aterros sanitários; processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos; usinas de geração de eletricidade, acima de 10 MW; complexo e unidades industriais e agroindustriais; distritos industriais e zonas estritamente industriais; exploração econômica de madeira ou de lenha, em áreas acima de 100 hectares ou menores quando forem áreas significativas em termos percentuais ou de importância do ponto de vista ambiental; projetos urbanísticos, acima de 100 hectares ou em áreas consideradas de relevante interesse ambiental; qualquer atividade que utilizar carvão vegetal, derivados ou produtos similares, em quantidade superior a 10 t/dia; projetos agropecuários que contemplem áreas acima de 1000 hectares, ou menores quando forem áreas

significativas em termos percentuais ou de importância do ponto de vista ambiental; e nos casos de empreendimentos potencialmente lesivos ao Patrimônio Espeleológico Nacional.

Legislação ambiental sobre diferentes temas

Além da Lei que instituiu o PNMA e a Resolução CONAMA que trata das diretrizes sobre o licenciamento ambiental, existem várias outras leis, decretos, resoluções e portarias que tratam de diferentes temas relacionados ao meio ambiente. O Quadro 1 nos dá uma idéia de como a normatização está distribuída nos diferentes temas.

Quadro 1 - Leis, Decretos, Resoluções e Portarias relacionados à preservação ambiental. Adaptado de Almeida et al., 2002.

Tema	Lei	Decreto- Lei	Decreto	Resoluções	Portarias	Total
Políticas, Estudos Ambientais	5	0	2	14	0	21
Águas e Recursos Hídricos	2	3	6	5	1	15
Ar Atmosférico	0	0	3	6	0	9
Solos e Subsolo	8	3	10	3	2	26
Fauna	2	0	5	3	75	85
Flora	6	4	10	17	26	63
Efluentes e emissões	2	1	1	26	2	32
Resíduos e agrotóxicos	1	0	5	18	3	27
Unidades de conservação	3	2	11	11	9	36
Outros temas diversos	17	4	20	12	25	78

Como podemos verificar no Quadro 1, a legislação ambiental brasileira é bem ampla, sendo considerada por muitos como uma das mais avançadas do mundo. O problema é que, não raramente, ela é descumprida. Apesar de a legislação ser adequada para garantir a preservação do meio ambiente, falta fiscalização.

Destacaremos a seguir, algumas Leis e Resoluções que estão relacionadas com o temas que discutimos nesta disciplina (água, efluentes, solos, agrotóxicos, resíduos, poluição atmosférica).

Recursos Hídricos (Lei 9.433 de 08/01/1997) - Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos. Define a água como recurso natural limitado, dotado de valor econômico, que pode ter usos múltiplos (consumo humano, produção de energia, transporte, lançamento de esgotos). Descentraliza a gestão dos recursos hídricos, contando com a participação do Poder Público, usuários e comunidades. São instrumentos da nova Política das Águas: 1- os Planos de Recursos Hídricos (por bacia hidrográfica, por Estado e para o País), que visam gerenciar e compatibilizar os diferentes usos da água, considerando inclusive a perspectiva de crescimento demográfico e metas para racionalizar o uso, 2- a outorga de direitos de uso das águas, válida por até 35 anos, deve compatibilizar os usos múltiplos, 3- a cobrança pelo seu uso (antes, só se cobrava pelo tratamento e distribuição), 4- os enquadramentos dos corpos d'água. A lei prevê também a criação do Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos para a coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão.

Recursos Hídricos (Resolução CONAMA nº 357 de 17/03/2005) - Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. De acordo com esta Resolução, as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade: águas doces – classes especial, 1, 2, 3 e 4; águas salinas – classes 1, 2, e 3 e águas salobras – classes especial, 1, 2 e 3. As águas doce classe 4 e águas salinas e salobras classe 3 devem ser utilizadas apenas para navegação e harmonia paisagística, sendo sua qualidade inadequada para contato direto ou indireto com os usuários. Os limites estabelecidos para contaminantes orgânicos e inorgânicos nestas águas são os mais altos.

Águas Subterrâneas (Resolução CONAMA nº 396 de 03/04/2008) - dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas. De acordo com essa Resolução as águas subterrâneas

são classificadas nas Classes Especial, 1, 2, 3, 4 e 5, com base nos usos mais preponderantes (consumo humano, dessedentação de animais, irrigação, recreação). São estabelecidos nesta resolução os valores máximos permitidos (VMP) para diversos contaminantes inorgânicos e orgânicos e agrotóxicos.

Lançamento de efluentes (Resolução CONAMA nº 430 de 13/05/2011) - Dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.

Solos (Resolução CONAMA nº 420 de 28/12/2009) - Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Essa Resolução foi estabelecida com base nas seguintes considerações: (i) necessidade de prevenção da contaminação do solo visando à manutenção de sua funcionalidade e a proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas; (ii) a existência de áreas contaminadas pode configurar sério risco à saúde pública e ao meio ambiente; (iii) necessidade de prevenir a contaminação do subsolo e das águas subterrâneas que são bens públicos e reservas estratégicas para o abastecimento público e o desenvolvimento ambientalmente sustentável; (iv) necessidade de estabelecer critérios para definição de valores orientadores para a prevenção da contaminação dos solos e de definir diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas.

Agrotóxicos (Lei 7.802 de 11/07/1989) - A Lei dos Agrotóxicos regulamenta desde a pesquisa e fabricação dos agrotóxicos até sua comercialização, aplicação, controle, fiscalização e também o destino da embalagem. Impõe a obrigatoriedade do receituário agrônomo para venda de agrotóxicos ao consumidor. Também exige registro dos produtos nos Ministérios da Agricultura e da Saúde e no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, IBAMA. Qualquer entidade pode pedir o cancelamento deste registro, encaminhando provas de que um produto causa graves prejuízos à saúde humana, meio ambiente e animais. O descumprimento da lei pode acarretar multas e reclusão, inclusive para os empresários.

Resíduos (Resolução CONAMA nº 416 de 30/09/2009) - Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada. De acordo com essa Resolução, os fabricantes e os importadores de pneus novos, com peso unitário superior a 2,0 kg (dois quilos), ficam obrigados a coletar e dar destinação adequada aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção de 70% em massa, dos pneus novos que forem vendidos. Como já sabemos os pneus dispostos inadequadamente constituem passivo ambiental, que podem resultar em sério risco ao meio ambiente e à saúde pública.

Poluição Atmosférica (Resolução CONAMA nº 382 de 22/12/2006) - Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Os limites são fixados por poluente (CO₂, CO, NO₂, SO₂) e por tipologia de fonte (combustão de óleo combustível, de gás natural, de bagaço de cana-de-açúcar e derivados da madeira, a partir de turbinas a gás, refinarias de petróleo, siderurgias, fábricas de processamento de celulose, cimenteiras, etc). Para elaboração desta Resolução considerou-se: (i) os altos níveis de poluição atmosférica já alcançados, principalmente nas regiões metropolitanas, e seus reflexos negativos sobre a saúde, o meio ambiente e a economia; (ii) a crescente industrialização de varias regiões do país com o conseqüente aumento do nível de emissões atmosféricas e da degradação da qualidade do ar; (iii) a necessidade de compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico; (iv) a necessidade de se estabelecer base de referência nacional sobre limites de emissão de poluentes atmosféricos, visando coibir excessos não condizentes com a defesa do meio ambiente e (v) a necessidade de se estabelecer estratégias para o controle e recuperação da qualidade do ar e a prevenção de sua degradação.

Você Sabia?

Que existe uma Lei (Nº 9605/98) que estabelece as penalidades para os crimes ambientais? A pena por causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora é reclusão de 1 a 4 anos e multa.

Consolidando o conhecimento

Nesta aula você aprendeu um pouco sobre a Legislação Ambiental Brasileira. A Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 trata da classificação e dos padrões de qualidade de águas superficiais e a Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008 trata da classificação e padrões de qualidade de águas subterrâneas. De acordo com a Resolução 357, as águas doce classe I podem ser destinadas para ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) a proteção das comunidades aquáticas; c) a recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); d) a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e) a proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas. A Resolução 396, a qualidade das águas subterrâneas é baseada nos usos preponderantes.

Compare criticamente os valores máximos estabelecidos para a água doce classe I (que pode ser usada para consumo humano e irrigação) com os valores estabelecidos para a água subterrânea para consumo humano e para irrigação. Você acha que esses valores são coerentes? Justifique sua resposta. Qual das classificações você acha mais adequada?

As Resoluções podem ser obtidas em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3>

Referências

Almeida, J. R. de; Mello, C. dos S.; Calvalcanti, Y. **Gestão ambiental: planejamento, avaliação, implantação, operação e verificação**. Rio de Janeiro: Thex Editora, 2002.

Alves, A. F.; Scopel, I. **Legislação ambiental brasileira: alguns de seus norteamentos**, XI Simpósio Regional de Geografia, UFG, 2009.

<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3> acessado em 05/06/2011.

<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=legislacao.index&tipo=4> acessado em 05/06/2011.

- Saturação por bases (V%): expressa a relação entre as bases presentes com a CTC, é expressa em porcentagem e determinada pela fórmula: $S \times 100 / CTC$.
- Saturação por alumínio (m%): significa a relação entre o teor de alumínio em relação à somatória de soma de bases e alumínio, é expressa em porcentagem e determinada pela fórmula: $Al \times 100 / S + Al$.

Você sabia?

Raramente um solo é constituído de uma só fração granulométrica, daí a necessidade de classes de textura procurando definir diferentes combinações de areia, silte e argila. Essa classificação é realizada com o auxílio do diagrama textural, apresentado na figura 4.

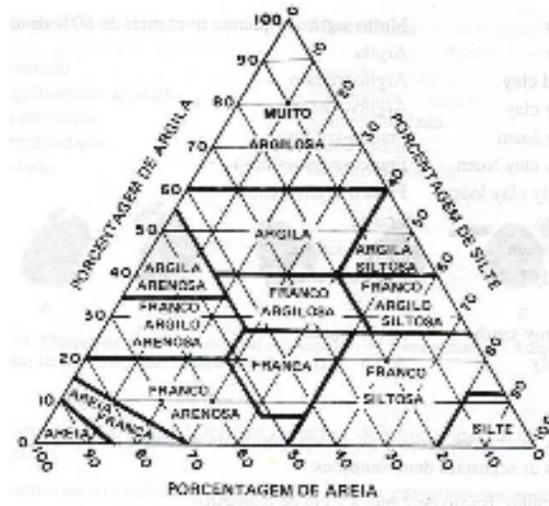


Figura 4. Diagrama textural para classificação de solos. (Fonte: Formação de solos, GEPAG, FCA-UNESP, 2003).

Até aqui, abordamos a litosfera como um compartimento regulador da vida humana, destacando as principais características da formação, composição e classificação dos solos. No capítulo seguinte, discutiremos a utilização do solo pelo homem, sua importância para a alimentação e as consequências dessa utilização, em função de potenciais contaminações por compostos orgânicos e inorgânicos. Abordaremos também algumas estratégias de descontaminação.

Consolidando o conhecimento

1. Baseado nas informações sobre a formação da crosta terrestre, você saberia propor como ocorrem os terremotos?
2. Descreva um procedimento para a determinação da acidez de solos em água e em solução de KCl. Evidencie as principais diferenças dos procedimentos e as informações fornecidas por cada um deles.
3. Liste duas técnicas espectrométricas com suas principais características e defina a unidade de medida de concentração **ppm**.
4. Um solo apresenta cerca de 40% de argila, 60% de silte e 75% de areia. Segundo o diagrama textural apresentado na figura 4, como este solo pode ser classificado?

Referências

Rocha, J.C., Rosa, A.H., Cardoso, A.A., **Introdução à Química Ambiental**, 2ª Ed., Porto Alegre, 2009.

<http://vestibular.uol.com.br/ultnot/resumos/ult2762u1.jhtm>, acessada em 27/02/2010.

Ladeira, F.S.B., **Solos do passado: origem e identificação**, R. Bras. Ci. Solo, 34, 1773-1786, 2010.

Ferreira, M. M., Fernandes, B., Curi, N., **Mineralogia da fração argila e estrutura de latossolos da região sudeste do Brasil**, R. Bras. Ci. Solo, 23, 507-514, 1999.

Ker, J.C., **Latossolos do Brasil: uma revisão**, Geonomos, 5(1):17-40.

Rosa, A.H., Rocha, J.C., **Fluxos de matéria e energia no reservatório solo: da origem à importância para a vida**, Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, 5, 7-17, 2003.

Zimback, C.R.L., **Formação de solos**, GEPAG, FCA-UNESP, Botucatu, 2003.

<http://comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=55&id=693>, acessada em 27/02/2010.

<http://www.sogeografia.com.br/>, acessada em 26/02/2010.

