

Módulo

BB.14

Ambiente e sociedade: solo e resíduos sólidos



1. SOLO E PRÁTICAS AGRÍCOLAS

Durante milhões de anos, a crosta terrestre permaneceu coberta de rochas que, com o tempo, se fragmentaram. Os principais agentes da desagregação foram as mudanças de temperatura (que ocasionaram dilatação e retração das rochas, provocando fraturas), o vento e a água. A água e os gases penetravam por entre as partículas do solo, criando condições para o desenvolvimento de seres vivos.

Os seres vivos contribuem para a formação do solo com matéria orgânica, que se decompõe em **húmus**, composto por matéria orgânica e inorgânica, como sais minerais, gás carbônico e amônia, que podem ser reaproveitados pelas plantas. Alguns seres vivos, como as minhocas (que escavam canais, além de produzirem húmus), também interferem na penetração de gases e de água no solo.

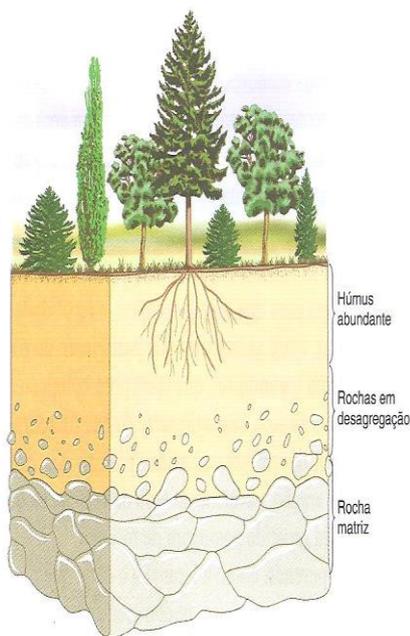


Figura 1. Perfil de solo fértil. Sobre a rocha matriz, encontram-se rochas em gradativa desagregação; na superfície, há partículas pequenas e húmus abundante.

A chuva pode “lavar” nutrientes do solo, carregando-os para camadas inferiores ou para rios e la-

gos. Esse processo — chamado **lixiviação** — empobrece e acidifica o solo, dificultando a atividade de seres vivos e a retenção de nutrientes. A acidez pode ser corrigida pela **calagem**, que consiste na aplicação de calcário ao solo. Entretanto, se a lixiviação for contínua e intensa, ocorrerá a **laterização**: formam-se hidróxidos de ferro, de alumínio e de níquel, que contribuem para compactar o solo, o que dificulta a aração e impossibilita a agricultura.

Os solos estão em permanente transformação e sofrem a ação erosiva das águas — principalmente das chuvas e dos rios — e dos ventos. O solo é considerado um **recurso potencialmente renovável**, pois o desgaste provocado pela erosão é, em parte, compensado pelo desgaste da rocha matriz, que vai formando mais solo. Em condições naturais, esses processos muitas vezes são controlados e limitados pela presença da cobertura vegetal, que funciona como camada de proteção. Parte da água da chuva que cai sobre a vegetação evapora antes de atingir o solo; as folhas funcionam como redutores da velocidade dos ventos; as raízes das plantas formam uma teia de fixação das partículas do solo, diminuindo os efeitos erosivos da água e dos ventos.

O equilíbrio dinâmico dos solos pode ser rompido pela ação humana. As atividades agrícolas, a extração madeireira, a construção de estradas e a expansão do uso industrial e urbano da terra removem a cobertura vegetal nativa, tornando o solo mais vulnerável à erosão.

FERTILIZAÇÃO DO SOLO

O nitrogênio é essencial à manutenção da vida, e os principais compostos orgânicos nitrogenados são as proteínas, os ácidos nucleicos, a clorofila e o ATP. Os organismos consumidores obtêm, direta ou indiretamente, compostos orgânicos nitrogenados dos produtores, que os fabricam com substâncias inorgânicas retiradas do ambiente. As principais formas de nitrogênio inorgânico são a amônia (NH_3), os nitritos (NO_2^-), os nitratos (NO_3^-) e o nitrogênio gasoso ou molecular (N_2).

As plantas podem usar amônia, mas sua principal fonte de nitrogênio são os nitratos. O nitrogênio molecular é biologicamente inerte para animais e plantas: entra e sai do corpo sem se incorporar aos tecidos.

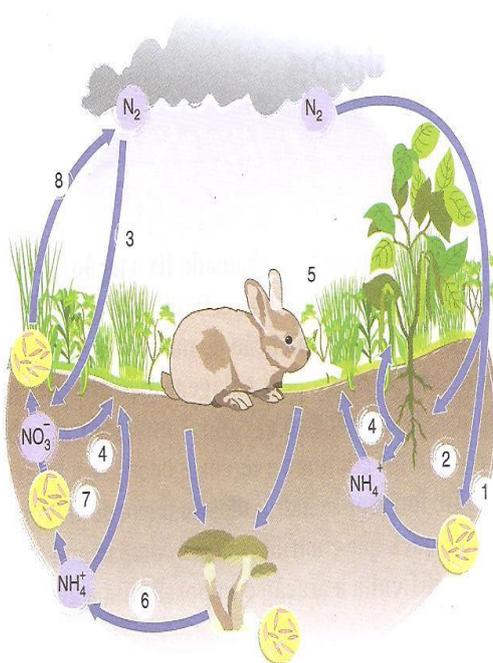


Figura 2. Ciclo do nitrogênio.

1. Fixação biológica. Microrganismos fixadores (cianobactérias e bactérias de vida livre, presentes no solo e na água) convertem nitrogênio gasoso em amônia, que é transformada em íons amônio, posteriormente convertidos em nitritos e nitratos.

2. Fixação biológica. Em nódulos das raízes de plantas leguminosas (figura 3), como feijão, soja, ervilha e crotalária, vivem bactérias do gênero *Rhizobium*, que fixam o nitrogênio gasoso, convertendo-o em amônia, posteriormente utilizada pelas plantas.

3. Fixação atmosférica. Com grande fornecimento de energia (relâmpagos), o nitrogênio pode reagir com o oxigênio, formando nitratos.

4. Absorção. Os produtores absorvem íons amônio e nitratos, produzindo matéria orgânica nitrogenada, como proteínas e ácidos nucleicos.

5. Nutrição animal. Os consumidores alimentam-se de produtores, obtendo matéria orgânica nitrogenada.

6. Amonificação (ou amonização). Os decompositores (bactérias e fungos) atuam sobre matéria orgânica animal e vegetal, produzindo resíduos como sais minerais, água, gás carbônico e amônia, a qual se converte em íons amônio.

7. Nitrificação. Bactérias nitrificantes convertem

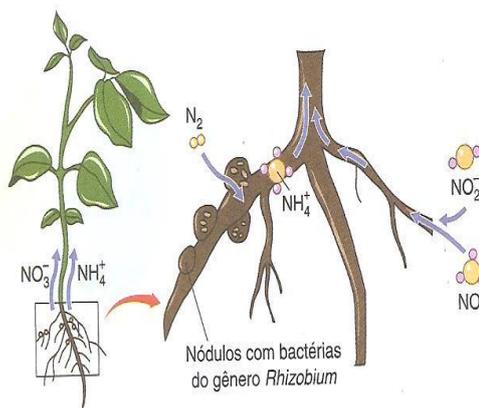


Figura 3. As bactérias fixadoras de nitrogênio penetram em raízes de leguminosas, onde se multiplicam e formam nódulos, obtendo abrigo e alimento.

Os processos realizados por bactérias nitrificantes (gêneros *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* e *Nitrobacter*) liberam energia, que elas empregam na produção de matéria orgânica a partir de gás carbônico e água. Tais bactérias são autótrofas e realizam a quimiossíntese, que utiliza a energia liberada na oxidação de compostos inorgânicos.

O ciclo do nitrogênio sofre influências da atuação humana. Um exemplo é a liberação de óxido nitroso (N_2O), gerado na produção e na aplicação de fertilizantes agrícolas e na queima de combustíveis fósseis. Esse poluente é um dos responsáveis pelo aumento do efeito estufa e pelo aquecimento global.

ROTAÇÃO DE CULTURAS, ADUBAÇÃO VERDE E FERTILIZAÇÃO ORGÂNICA

Um método que ajuda a preservar a fertilidade dos solos cultivados é a rotação de culturas: a área é dividida em glebas menores, nas quais são plantadas espécies diferentes de plantas. A cada ano, na área em que se plantava uma espécie, planta-se outra, em rodízio. Dessa forma, evita-se que sejam cultivadas em uma mesma área, consecutivamente, espécies que apresentam as mesmas necessidades nutricionais, o que dá tempo para que o solo recupere a fertilidade.

Em geral, entre as espécies que participam do rodízio, há uma leguminosa, que incorpora compostos nitrogenados no solo, repondo parte do que foi retirado. Também devem ser cultivadas plantas que exigem pouca aração, poupando o solo da compactação causada pela repetida passagem de tratores.

Plantas perenes, como a laranja e o café, que produzem safras consecutivas, podem ser associadas a uma leguminosa — por exemplo, a crotalária —, que, após se desenvolver, é cortada, triturada e incorpora-

raízes. A incorporação de matéria orgânica no solo também favorece a formação de húmus e contribui para a manutenção da aeração e da umidade.

A **fixação biológica do nitrogênio** com a participação de bactérias tem sido desenvolvida desde 1950, na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), por um grupo coordenado pela pesquisadora Johanna Döbereiner, propiciando ao país economia anual de US\$ 1 bilhão em fertilizantes. Bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico são introduzidas em plantas de arroz e de cana-de-açúcar, tornando as culturas menos dependentes de fertilizantes.

Outra forma de aumentar a fertilidade do solo é pela **fertilização orgânica** pelo acréscimo de **esterco animal** (fezes e urina), que adiciona compostos nitrogenados e estimula a proliferação de fungos e bactérias. Alternativamente, pode-se usar o **composto orgânico** obtido na compostagem do lixo. Além de enriquecerem o solo com nutrientes, o esterco animal e o composto orgânico facilitam a aeração e ajudam a manter a umidade do solo.

CULTIVO MÍNIMO E PLANTIO DIRETO

À medida que cortam e revolvem a terra, os arados eliminam gramíneas que brotam naturalmente, rompem a camada superficial do solo e criam um leito poroso e úmido, adequado para a germinação das sementes. Usadas ao longo de muitos anos, as técnicas tradicionais de aração acabam por degradar o solo, principalmente quando o cultivo é feito “morro abaixo”, isto é, sem respeitar a curvatura do terreno. A aração, quando feita incorretamente, facilita a formação de enxurradas, acentuando a erosão e a lixiviação, que causam o empobrecimento do solo.

Os programas de **cultivo mínimo** (ou aração mínima) destinam-se a conservar, na camada superficial, os restos vegetais que sobram da colheita. Esse material contribui para reduzir a erosão e conservar a umidade do solo. Além de preservar o solo, essa técnica economiza combustível.

Um sistema associado ao cultivo mínimo e à rotação de culturas é o **plantio direto**, que permite a formação de culturas sem aração prévia. Implementos agrícolas especialmente desenvolvidos para esse fim colocam sementes e adubo diretamente sobre a palha da cultura anterior. A palha reduz a perda da camada superficial do solo tanto pelo vento como pela chuva. Esse método aumenta a incorporação de matéria orgânica e reduz a compactação do solo, pois diminui a passagem de máquinas agrícolas. Além disso, o consumo de combustíveis é cerca de 70% menor em relação às culturas convencionais.

FERTILIZANTES INORGÂNICOS

Atualmente, é prática usual o emprego de fertilizantes químicos com formulação conhecida por NPK, pois contêm **nitrogênio** (como uréia ou íons amônio e nitrato), **fósforo** (como íons fosfato) e **potássio**. Acredita-se que sem eles a produção mundial de alimentos seria aproximadamente 40% menor.

Os fertilizantes químicos agravam a poluição atmosférica, pois se associam com a emissão de gases, tanto na produção como no transporte e na aplicação. Na cultura, sua aplicação requer mecanização e consumo de combustível, aumentando a emissão de poluentes. Os fertilizantes também se relacionam com a poluição das águas. O aumento da quantidade de nitratos pode acarretar eutrofização, e a presença desses íons em águas servidas à população pode afetar a saúde das pessoas.

PROTEÇÃO MECÂNICA CONTRA A EROSIÃO

Uma das técnicas para reduzir os efeitos da erosão é o cultivo de acordo com as **curvas de nível** no terreno, evitando a formação de leitos naturais de enxurradas. O **terraceamento**, utilizado em vertentes montanhosas, onde a erosão pela água das chuvas representa ameaça ainda maior, reduz a velocidade das águas correntes.

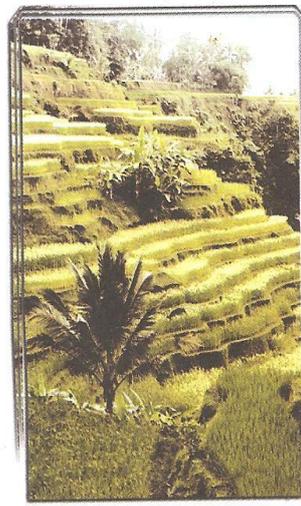


Figura 4. Cultura com terraceamento.

A ação erosiva do vento pode ser combatida pelo plantio de espécies vegetais que atuam como **quebra-ventos**. Longas fileiras de plantas são cultivadas ao lado do terreno agrícola, funcionando como “escudos”, pois diminuem a velocidade dos ventos, reduzindo a evaporação e preservando a umidade. Além disso, fornecem moradia para aves e outros inimigos naturais de pragas agrícolas e para animais polinizadores.

Outra técnica contra a erosão pelo vento é a combinação de plantas rasteiras com plantas arbustivas (café e soja, por exemplo). A chamada **consorciação** permite que duas espécies sejam cultivadas em uma mesma área, aumentando o rendimento e a fertilidade do solo.

2. PRAGAS AGRÍCOLAS

Chamam-se **pragas** as espécies de seres vivos — plantas, animais ou microrganismos, como bactérias e fungos — que interagem com as populações humanas, competindo com elas pelos alimentos, invadindo suas residências, transmitindo-lhes doenças, destruindo suas plantações e atacando seus rebanhos.

As substâncias químicas destinadas ao controle desses organismos indesejáveis chamam-se **biocidas** (pesticidas, agrotóxicos ou defensivos agrícolas), que incluem grande variedade de produtos, como inseticidas, raticidas, fungicidas e herbicidas.

Os **inseticidas químicos** foram desenvolvidos a partir de 1939. Após o DDT (diclorodifeniltricloroetano), que, por sua elevada toxicidade, teve a produção e a comercialização proibidas, muitos outros foram desenvolvidos, sendo hoje amplamente empregados em todo o mundo.

Um dos sérios problemas provocados pelo uso excessivo de inseticidas é a seleção de linhagens resistentes de insetos (figura 5). Quantidades progressivamente maiores são necessárias, acentuando os efeitos indesejáveis desses produtos sobre o ambiente. Uma vez aplicados, os inseticidas se movem com facilidade pelo ambiente (ar, água, solo e seres vivos), muitas vezes deslocando-se por longas distâncias.

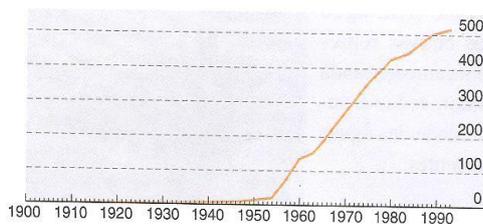


Figura 5. Número de espécies resistentes aos inseticidas convencionais.



Chama-se **magnificação trófica** (figura 6) o aumento da concentração de certa substância em diferentes níveis de uma cadeia alimentar. De todas as

interferências humanas na circulação da matéria, poucas tiveram tanto impacto e adquiriram tamanha importância histórica como a disseminação do uso do DDT. Concentrando-se nos tecidos dos consumidores de maior ordem (carnívoros em geral), esse pesticida foi responsável pelo declínio da população de diversas espécies em todo o mundo.

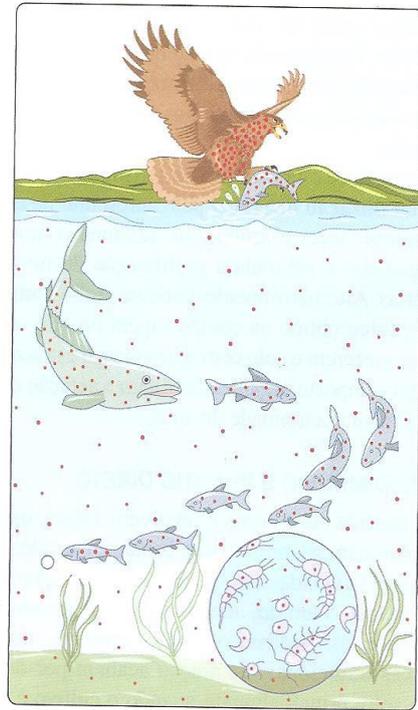


Figura 6. Na magnificação trófica (bioacumulação ou magnificação biológica), o último nível de consumidores apresenta maior concentração de DDT. Na ilustração, cada ponto representa certa quantidade desse inseticida.

ALTERNATIVAS DE COMBATE

Os pesticidas sintéticos também atuam sobre organismos não-alvo (insetos polinizadores, aves, seres humanos e outros animais), contaminam o ar, o solo e as águas e selecionam linhagens de organismos resistentes. Uma consequência disso é que se intensifica a pressão de muitos consumidores por “produtos orgânicos”, livres de agentes químicos artificiais. Esses fatores têm estimulado o desenvolvimento de formas alternativas de controle de pragas.

- **Práticas de cultivo.** A rotação de culturas evita que, ano após ano, uma área seja cultivada com a mesma espécie vegetal, sujeita ao ataque de determinados insetos e de outras pragas. Uma alternativa é plantar algumas espécies vegetais em fileiras, no meio da cultura; além de funcionarem como quebra-ventos, essas espécies oferecem abrigo e alimento para inimigos naturais das pragas.

- **Melhoramento genético.** A seleção de animais e de plantas favorece a predominância, entre eles, de indivíduos geneticamente resistentes às pragas, reduzindo a necessidade de aplicação de produtos sintéticos. Com as modernas técnicas de engenharia genética, linhagens resistentes têm sido desenvolvidas. Um exemplo é uma variedade de milho geneticamente modificado (“milho transgênico”), portador de um gene que o torna resistente ao ataque de insetos, como a lagarta-do-cartucho.

- **Radiações ionizantes.** Muitos alimentos podem ser submetidos a radiações (raios gama, por exemplo) que matam bactérias, fungos, insetos etc. A aplicação da radiação é segura para os futuros consumidores, uma vez que os alimentos irradiados não se tornam radioativos.

- **Controle biológico.** Uma alternativa no combate às pragas é o uso de inimigos naturais (predadores, parasitas ou competidores). Uma de suas vantagens é a especificidade: o agente biológico — chamado **biopesticida** — ataca determinada espécie de praga (um inseto, por exemplo), poupando outras, como os insetos polinizadores, que seriam igualmente mortos pelos inseticidas. Essa técnica não só reduz a utilização de pesticidas, como também evita a contaminação de águas e de alimentos.

Na linha de produtos biológicos, já são empregadas mais de trezentas espécies de vírus, bactérias, fungos, protozoários e insetos. Os mais comercializados são os derivados de bactérias da espécie *Bacillus thuringiensis*, aplicados em numerosas culturas (milho, frutas, café, feijão, batata e trigo), e os **baculovírus**, usados no combate a pragas desde a década de 1940, principalmente contra a lagarta-rosada da soja e a lagarta-do-cartucho do milho. As lagartas ingerem esses vírus com as folhas e acabam morrendo. Os próprios agricultores podem produzir mais concentrados virais, triturando as lagartas infectadas; posteriormente, o material obtido é aspergido sobre a cultura.

3. RESÍDUOS SÓLIDOS

A grande produção de resíduos sólidos é um traço característico da civilização urbana e industrial. O lixo doméstico (figura 7) é um subproduto do consumo de bens duráveis e não-duráveis.

Entre os resíduos das atividades industriais, há numerosas substâncias que podem causar dano ao ambiente e à saúde. Os resíduos hospitalares, por sua natureza, são perigosos e exigem cuidados especiais de armazenamento. O lixo radioativo é um subproduto da geração de energia em usinas nucleares e deve ser isolado do ambiente por centenas ou milhares de anos.

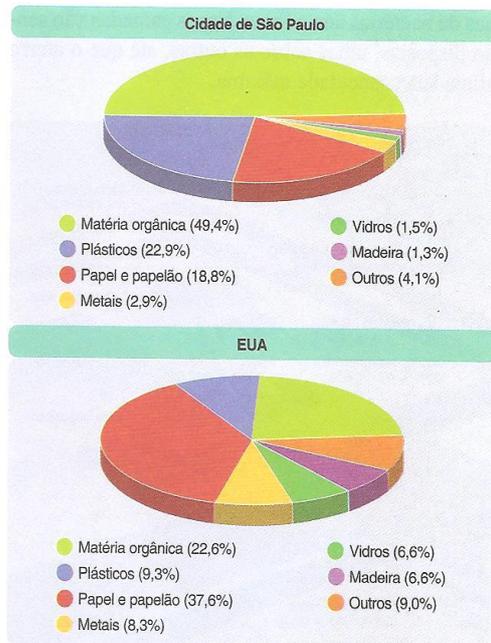


Figura 7. Composição do lixo urbano na cidade de São Paulo e nos EUA.

No passado, formavam-se, na periferia das cidades, os **lixões**, depósitos de lixo a céu aberto. Nos países desenvolvidos, os lixões foram fechados; nos países em desenvolvimento, entretanto, ainda são comuns. No Brasil, por exemplo, milhares de pessoas vivem da coleta e da venda de material retirados dos lixões.

Os lixões são propícios à multiplicação de insetos e roedores, muitos dos quais transmitem doenças infecciosas (como a amebíase e a giardíase, que podem ser veiculadas por moscas e baratas, e a leptospirose, transmitida por ratos). Além da poluição do ar, os lixões representam sério risco para a qualidade do solo e das águas, tanto as superficiais como as de lençóis subterrâneos, já que são instalados em locais onde não há impermeabilização do solo.

Em muitas cidades, os lixões vêm sendo substituídos por **aterros sanitários**, de acordo com técnicas que reduzem o impacto ambiental. Além dos aterros, existem alternativas para a destinação final do lixo, como a **incineração** e o **reprocessamento** (compostagem, seleção e reciclagem).

- **Aterros sanitários.** Para a criação de um aterro sanitário, impermeabiliza-se o terreno e, sobre a camada impermeável, começa-se a acumular o lixo. A cada dia, o lixo depositado é coberto por uma camada de terra com 15 cm a 30 cm de espessura e compactado firmemente por tratores, evitando-se a entrada e a permanência de ar. O material deve permanecer sem contato com o oxigênio para permitir a ação ape-

nas de bactérias anaeróbias. Novas camadas vão sendo dispostas, umas sobre as outras, até que o aterro atinja sua capacidade máxima.



Figura 8. Aterro sanitário em uso, com as camadas de lixo e de terra sobrepostas sendo compactadas.

Aterros sanitários liberam para a atmosfera uma mistura gasosa formada por metano (48%), gás carbônico (47%) e menores quantidades de outros gases (nitrogênio, oxigênio, hidrocarbonetos aromáticos, hidrogênio e monóxido de carbono).

O metano é inflamável e pode acumular-se em bolsões nos aterros, provocando incêndios e explosões. Através de respiradouros, escapa continuamente para a atmosfera e não se acumula sob as camadas de lixo. Apesar de diminuir o risco de incêndio e de explosão, tal liberação aumenta a poluição do ar, além de estar associada à rarefação da camada de ozônio e à acentuação do efeito estufa. O metano canalizado pode ser empregado como combustível domiciliar ou na geração de energia elétrica.

A **lixívia** (ou “chorume”) é um líquido malcheiroso que escorre do lixo acumulado e pode atingir córregos, rios e lagos. Se as obras de impermeabilização não forem adequadas, a água dos lençóis subterrâneos poderá ser contaminada.

• **Incineração.** Os incineradores queimam o lixo em temperaturas altíssimas, reduzindo seu volume em até 90%. Além disso, o calor liberado na queima pode ser empregado em caldeiras, cujo vapor movimenta turbinas e possibilita a geração de energia elétrica. Para aumentar a eficácia da incineração, o lixo deve ser antes separado. Papéis, plásticos, madeiras, bor-

rachas e resíduos da compostagem são os melhores materiais para incineração. O maior problema ambiental decorrente da incineração de lixo é a poluição do ar, por causa da liberação de monóxido de carbono e gás carbônico, de material particulado, ácidos, metais pesados, dioxinas e outros poluentes.

• **Compostagem.** É a transformação em adubo de material orgânico do lixo, como restos de alimentos e de plantas (folhas, galhos etc.), e resulta da ação de invertebrados (minhocas e insetos) e microrganismos (bactérias e fungos). O material orgânico deve ser mantido úmido, aerado e continuamente revolvido, para que o oxigênio torne a decomposição biológica mais rápida, convertendo o lixo orgânico em um composto usado como fertilizante. O processo todo se completa de trinta a sessenta dias e, desde que executado corretamente, não atrai moscas, baratas nem roedores. Para facilitar a compostagem, o material não-biodegradável (plásticos, vidros e metais, principalmente) deve ser previamente removido.

• **Reduzir, reutilizar e reciclar!** As técnicas de tratamento do lixo acarretam algum dano ambiental. Diante das perspectivas de esgotamento dos aterros e das dificuldades relacionadas à incineração, as medidas de controle dos resíduos urbanos se resumem em três estratégias: **reduzir, reutilizar e reciclar.**

Nos locais em que há **coleta seletiva**, o lixo útil deve ser separado do lixo comum, em cada casa, e encaminhado a **usinas de processamento**, onde se fazem a seleção e o empacotamento, podendo depois ser vendido para indústrias, que poderão reutilizá-lo.

4. POLUIÇÃO RADIOATIVA

Nas **reações nucleares**, determinados átomos se convertem em outros, por modificações de seus núcleos. Há dois tipos de reações nucleares: na **fissão** os átomos são quebrados em átomos menores; na **fusão** os átomos se fundem, formando átomos maiores.

As reações nucleares liberam grande quantidade de energia. A fissão de 1 g de urânio-235, por exemplo, libera energia equivalente a trinta toneladas de TNT (trinitrotolueno).

Tabela 1. Equivalência energética entre diversos combustíveis

Combustível	Eletricidade gerada a partir de 1 kg do combustível
Lenha	1 kWh
Carvão	3 kWh
Petróleo	4 kWh
Urânio natural (não enriquecido)	50.000 kWh
Plutônio	6.000.000 kWh

Na fissão nuclear do urânio, seu núcleo é quebrado em dois núcleos menores, liberando partículas subatômicas chamadas nêutrons. Ao colidirem com outros núcleos de átomos de urânio, os nêutrons liberados desencadeiam novas quebras, ou seja, outras fissões nucleares. Trata-se, portanto, de uma **reação em cadeia**. Se a massa de combustível nuclear for superior a determinado valor (chamado **massa crítica**), a reação em cadeia se manterá.

O minério de urânio, combustível geralmente empregado em usinas nucleares, é um **recurso não-renovável**, encontrado na crosta terrestre em quantidade relativamente pequena.

A fissão do urânio libera energia na forma de calor, que, na usina nuclear, é empregado para aquecer a água e transformá-la em vapor, que movimenta as turbinas geradoras de eletricidade. A geração de eletricidade só é possível porque a liberação da energia é controlada e não ocorre de forma violenta, como em explosões atômicas.

Uma usina nuclear (figura 9) possui diversos componentes:

- um núcleo, onde está o combustível nuclear (urânio ou plutônio) e ocorre a fissão nuclear;
- um sistema gerador de vapor, em que o calor liberado na fissão eleva a temperatura da água, convertendo-a em vapor;
- a turbina, movimentada pelo vapor d'água e responsável pela geração de eletricidade;
- um condensador, em que o vapor d'água é reconvertido em água líquida;
- um sistema de arrefecimento, que resfria os demais componentes.

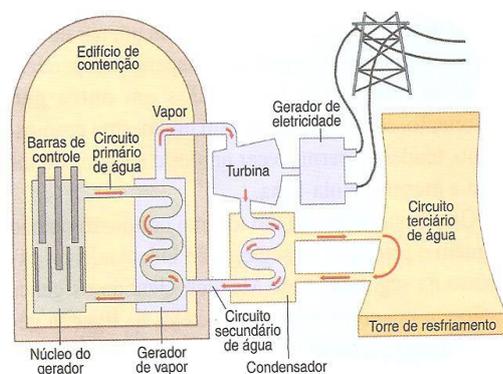


Figura 9. Esquema de uma usina nuclear. O núcleo do reator, revestido de concreto e chumbo, fica em um grande edifício com paredes de concreto e aço.

As usinas nucleares originam resíduos (ou "lixo atômico"), formados pela decomposição do combustível nuclear, que, embora parcialmente decomposto, mantém alto nível de radioatividade. Os resíduos nucleares contêm isótopos radioativos de alguns elemen-

tos químicos, como o céσιο, o estrôncio, o criptônio e o plutônio. Esses elementos permanecem ativos por milhares de anos e, dependendo de sua quantidade, podem provocar doenças graves ou letais.

CONTAMINAÇÃO COM MATERIAL RADIOATIVO

Se o fluxo da água de arrefecimento de uma usina nuclear for interrompido ou se não forem trocadas as barras de grafite, que impedem a velocidade excessiva da reação, o núcleo se aquecerá rapidamente, podendo destruir a estrutura de proteção; então, o combustível nuclear vaza e contamina a água.

O mais grave acidente em uma usina nuclear aconteceu em Chernobyl, na Ucrânia. Em abril de 1986, durante um teste, a fissão nuclear intensificou-se a ponto de superaquecer o reator, que acabou explodindo. Labaredas ergueram-se a mais de trinta metros, liberando uma nuvem de material radioativo, que rapidamente se espalhou com o vento. Cerca de 2,5 mil pessoas morreram contaminadas, em semanas ou meses; mais de 8 mil pessoas morreram, nos anos que se seguiram ao acidente. Milhões de moradores tiveram que deixar suas casas, em um raio de 300 km da usina. Levada pelas correntes de ar, a radiação se espalhou, contaminando pastagens, carnes e laticínios.

Além de serem combustíveis das usinas nucleares, os isótopos radioativos são usados em aparelhos para tratamento de câncer, em diagnóstico, em esterilização de instrumental e de alimentos etc.

Certas moléculas orgânicas, principalmente as de DNA, podem ser lesadas pelas radiações, propiciando o aparecimento de **mutações**. Quando ocorrem nas células que formam os gametas, essas mutações podem ser transmitidas aos descendentes. Problemas fetais, como má-formações, retardo mental, formas congênitas de câncer e doenças genéticas, podem ser causadas pela exposição materna a radiações. Doenças cardíacas e neurológicas, catarata, hemorragias, diversas formas de câncer (leucemias, câncer de tireóide, de pele etc.) e outros distúrbios também têm sido associados à exposição a radiações.

Um dos problemas da contaminação com material radioativo é que ele pode causar lesões, particularmente em certos tecidos. O isótopo radioativo iodo-131, por exemplo, pode se acumular no solo e na vegetação, atingindo as pessoas através do leite ou de outros alimentos. Esse isótopo concentra-se rapidamente na tireóide, onde pode causar câncer.

Em 1987, na cidade de Goiânia (GO), foi abandonada uma cápsula de céσιο-137, isótopo radioativo empregado em aparelhos de radioterapia. Encontrada por coletores de sucata, a cápsula foi aberta e manuseada por várias pessoas. Em consequência, quatro morreram e dezenas continuaram sofrendo os efeitos da contaminação radioativa.