

Ricklefs, R.E. 2003. Desenvolvimento Econômico e Ecologia Global. In: RICKLEFS, R. E. A Economia da Natureza. Ed. Guanabara Koogan. Cap. 26, p 462-476.

A Economia da Natureza

Quinta Edição

ROBERT E. RICKLEFS

University of Missouri – St. Louis

Revisora Técnica e Coordenadora da Tradução:

Cecília Bueno

Bióloga
Doutoranda em Conservação de Biodiversidade, Prog. de
Geografia/UFRJ
Universidade Veiga de Almeida
Consultora da Associação Ecológica EcoMarapendi
Consultora do IBAMA

Tradutor (Caps. 1, 3, 5, 7, 9, 11 a 26, Apêndices A, B e Glossário):

Pedro P. de Lima-e-Silva

Engenheiro Ambiental
Comissão Nacional de Energia Nuclear
Doutorando em Avaliação de Impacto Ambiental, Prog. de Geografia/UFRJ
Mestre em Eng. Nuclear e Planejamento Energético (COPPE/UFRJ)

Tradutora (Caps. 2, 4, 6, 8 e 10):

Patrícia Mousinho

Bióloga
Associação Ecológica EcoMarapendi
Mestre em Ciência da Informação — IBICT/UFRJ

Desenvolvimento Econômico e Ecologia Global

Os processos ecológicos contêm a chave para a política ambiental

As atividades humanas ameaçam os processos ecológicos locais

As toxinas têm se acumulado no ambiente

A poluição atmosférica ameaça o ambiente numa escala global

A ecologia humana é o último desafio



Reservamos, ou temos planos de reservar, grandes áreas de ambientes naturais da Terra como reservas naturais, e manter suas capacidades em sustentar as espécies. Mas e acerca dos 90% ou mais do resto da Terra que foi, ou será em breve, convertido para o sustento da população humana — devotado para espaço vital,

produção de alimento, arboricultura, produção mineral, caça e assim por diante? Qual será o futuro da nossa própria espécie? Pode a terra sustentar uma população humana indefinidamente em expansão numa alta qualidade de vida? Em que grau os valores humanos são compatíveis com os valores naturais? Podem os ecossistemas manejados servir a algumas das mesmas funções que os ecossistemas naturais, ou as reservas naturais permanecerão em total contraste com os ambientes completamente alterados dominados por humanos e suas espécies domesticadas?

Uma biosfera sustentável é improvável enquanto a população humana continuar a crescer. A Terra não oferece novas regiões para colonizar. Exceto algumas partes dos Trópicos úmidos, muitas das quais não podem sustentar populações humanas densas, a maioria das áreas habitáveis da Terra já foi preenchida. Um aumento adicional na população levará a um superpovoamento adicional, esgarçando não apenas o tecido social humano, mas também os sistemas de suporte à vida do ambiente.

O pessimismo surge facilmente na atmosfera ambiental, mas há também muito espaço para otimismo. Muitos programas para limpar o ambiente e proteger as espécies ameaçadas têm tido inegável sucesso. Nos Estados Unidos, a Lei do Ar Limpo (*Clean Air Act*, 1970), a Lei da Água Limpa (*Clean Water Act*, 1972) e a Lei das Espécies Ameaçadas (*Endangered Species Act*, 1973) resultaram em uma considerável proteção ao ambiente. Outros países adotaram legislações semelhantes, e os acordos internacionais lidam com questões diversas, tais como a poluição do ar, o comércio de espécies ameaçadas e os direitos de propriedade para os produtos naturais. Estes sucessos não estão limitados aos países desenvolvidos. Soluções relativamente simples de engenharia e ecologia existem para a maioria dos problemas ambientais. Mais importante, as pessoas em todo o planeta compartilham uma profunda preocupação com seus ambientes. O desafio para os ecólogos é proporcionar a informação científica necessária para desenvolver um consenso social, construir um compromisso político e informar os tomadores de decisão sobre as questões relativas ao ambiente.



Os processos ecológicos contêm a chave para a política ambiental

Por todo este livro, temos discutido os processos envolvidos na produção biológica e na regulação das comunidades e dos ecossistemas. No capítulo anterior, vimos como uma compreensão dos processos ecológicos pode contribuir para a conservação de determinadas populações e espécies e da biodiversidade de uma mais geral. Aqui consideraremos os papéis dos processos ecológicos em sustentar a função dos ecossistemas. Estes processos ocorrem em ecossistemas manejados, assim como nos ecossistemas naturais.

Dois aspectos-chave da função ecossistêmica são o direcionamento da energia e a reciclagem contínua de materiais. Nos sistemas naturais, a fonte primária de energia é a luz do Sol; a reciclagem é executada por diversos processos regenerativos, alguns deles físicos ou químicos, alguns deles biológicos. Qualquer desequilíbrio que leve à acumulação ou à depressão de algum componente de um ecossistema é normalmente corrigido pelos processos dinâmicos de automanutenção do ecossistema. Por exemplo, quando matéria orgânica morta se acumula num sistema, os detritívoros aumentam em número e consomem o excesso de detrito. Quando os números dos herbívoros aumentam muito e começam a deplecionar seus recursos alimentares, as taxas de natalidade declinam e a de mortalidade crescente interrompem o crescimento populacional e restauram uma relação sustentável entre consumidor e recurso.

Estes processos restaurativos podem ser físicos, mas mais freqüentemente eles envolvem transformações biológicas. Da composição da atmosfera até o mais básico caráter de muitos ambientes, as plantas, os animais e os micróbios vêm modificando fortemente a condição dos ecossistemas terrestres e são responsáveis pela manutenção de suas qualidades. Quando os processos naturais são rompidos, os ecossistemas podem não ser mais capazes de se manterem a si próprios. Em nenhuma parte isso é mais dramaticamente evidenciado do que nas mudanças que ocorrem nos solos e nas correntes de água após um desmatamento numa floresta pluvial tropical (veja Cap. 8). Assim, manter uma biosfera sustentável requer que conservemos os processos ecológicos responsáveis por sua produtividade.



As atividades humanas ameaçam os processos ecológicos locais

Todas as atividades humanas têm conseqüências para o ambiente. A pesca proporciona um bom exemplo. A meta é coletar um recurso alimentar para o consumo humano. Contudo, quando simplesmente maximizamos os retornos de curto prazo de um pesqueiro, os estoques de peixes preferidos são reduzidos ou mesmo colapsam, e nossa atenção se volta para outros menos desejáveis, mas ainda exploráveis.

Podemos ver este padrão na pesca comercial da baleia, na qual uma espécie após a outra foi caçada até próximo da extinção. As populações de baleias jubarte, franca, boreal e

cinzenta foram dizimadas durante o século XIX. Durante o século XX, a indústria baleeira focalizou sua atenção nas agora mais lucrativas baleias azuis, cuja captura comercial declinou para níveis não-econômicos durante meados do século. Os baleeiros então se voltaram para as baleias-fin, que declinaram abruptamente entre 1965 e 1975, passando para espécies menos e menos lucrativas, tais como a cachalote e, finalmente, as baleias-azul-boreal (Fig. 26.1). Sob as leis atuais, incluindo uma moratória total sobre a pesca comercial de baleias desde 1985, algumas populações de baleias, como a cinzenta, a boreal e a jubarte estão aumentando a uma taxa de cerca de 2% ao ano.

Outros pesqueiros, tais como o outrora imensamente lucrativo pesqueiro de sardinha (*Sardinops*) do oeste da América do Norte, não se recuperaram mais da sobreexploração. É possível que esses estoques de peixes tenham sido empurrados abaixo dos níveis dos quais poderiam se recuperar, e que o ecossistema inteiro se deslocou de tal forma que não inclui mais a sardinha como uma conexão importante na cadeia alimentar. Interessante é que, seguindo-se ao colapso da pesca da sardinha na Califórnia no início dos anos 1950, as anchovas (*Engraulis*) são agora a base de uma pesca ativa.

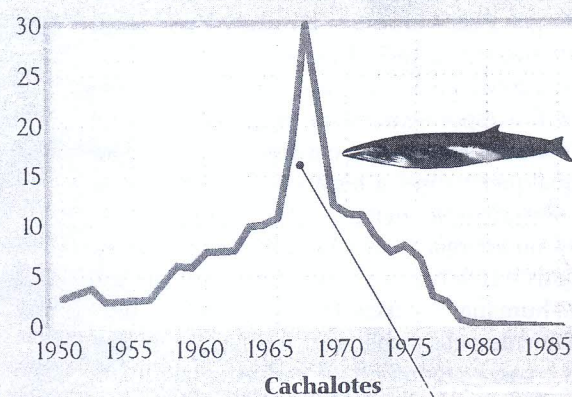
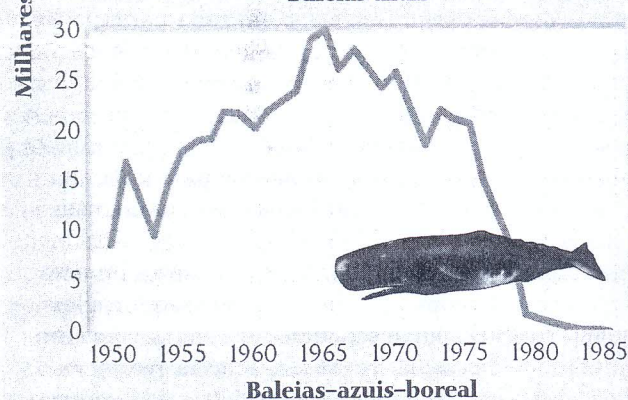
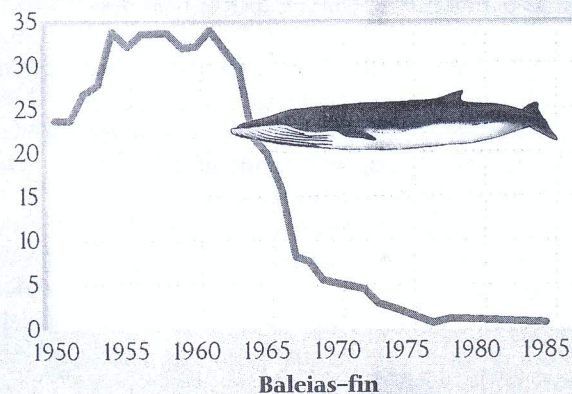
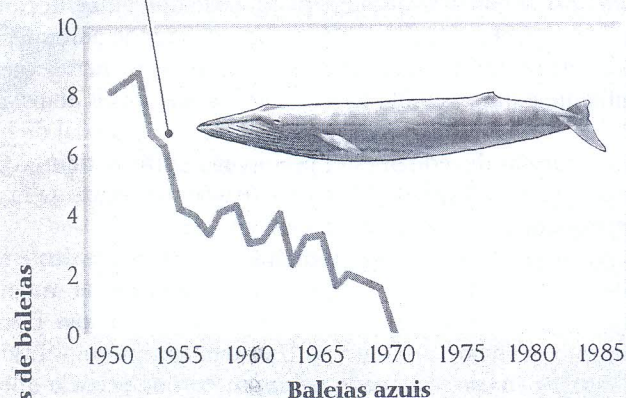
Freqüentemente, as conseqüências das atividades humanas são menos diretas. Para proporcionar um exemplo relativamente simples, o desmatamento de terras de bacias para agricultura ou madeireiras muitas vezes leva à erosão e à deposição de silte a jusante da bacia durante longos períodos. Assim, os habitats ripários podem ser alterados e as reservas acima das represas sedimentadas. A erosão de terra sedimentada em Queensland, Austrália, está causando danos às correntes e à Grande Barreira de Recifes ao largo da costa. Olharemos para alguns desses exemplos de efeitos tanto diretos quanto indiretos de atividades humanas conforme considerarmos os diferentes tipos de ameaças aos processos ecológicos.

Sobreexploração

A pesca, a caça, a pastagem, a coleta de madeira para combustível, a retirada de madeira e afins são as interações clássicas consumidor-recurso. Na maioria dos sistemas naturais, essas interações atingem estados estacionários, porque, à medida que um recurso se torna escasso, a eficiência da exploração cai. As populações consumidoras então começam a declinar, ou buscam recursos alternativos, até que os consumidores e seus recursos preferenciais sejam trazidos de volta ao equilíbrio. A eficiência da exploração e a capacidade dos recursos em resistir à exploração são características de consumidores e recursos que evoluíram durante longos períodos de interação (veja Cap. 20).

Nos sistemas econômicos, as interações consumidor-recurso podem também entrar em equilíbrio, porque, à medida que um recurso se torna escasso e seu preço aumenta, a demanda para aquele recurso cai; as pessoas ou fazem sem, ou encontram alternativas mais baratas. Contudo, devido à capacidade da população humana em explorar sistemas naturais ter escalado para níveis desproporcionais por sua habilidade em usar ferramentas, os recursos renováveis podem não se tornar escassos até que estejam muito próximos do esgotamento, e se tornem incapazes de sustentar até mesmo uma exploração reduzida. As habilidades tecnológicas avançaram muito rapidamente para a Natureza manter o passo. Conseqüentemen-

Como a quantidade das grandes baleias declinou após a sobrecaça...



...a indústria baleeira passou para novas espécies menos lucrativas.

Fig. 26.1 A indústria baleeira passou a pescar espécies novas e menos lucrativas à medida que as populações sobrecaçadas desapareciam. O processo de captura comercial de quatro tipos de baleia em meados do século vinte ilustra esta substituição. Segundo R. Payne, em W. Jackson (ed.) *Man and the Environment*, 2d ed., W. C. Brown, Dubuque, IA (1973), p. 143.



Fig. 26.2 Em muitas partes do mundo, o uso da terra a tem deixado improdutivo. A pastagem pelas cabras removeu boa parte da vegetação no nível do solo nestas florestas em Madagascar. Fotografia de Walt Anderson/Visuals Unlimited.

te, muitos ecossistemas que historicamente sustentaram o crescimento de população humana, como as vastas florestas e pradarias da América do Norte, foram convertidos em outros usos.

Onde a fertilidade da terra foi exaurida (como nas partes mais secas da África, e crescentemente em toda parte), a população humana pode perder a base de recursos que necessita para se auto-sustentar. Onde a população não pode mais se mover para outras áreas, ou trocar para novas fontes de alimentos, a perspectiva do controle populacional pela fome e doenças associadas e conflito social pode se tornar uma realidade. As carências alimentares já estão ocorrendo em algumas partes do mundo. Na África subsaariana, a sobrepastagem e as coletas de madeira para combustível deixaram pouca vegetação para sustentar os humanos ou qualquer outra vida. Em outras partes do mundo, vastas áreas de terras originariamente produtivas se tornaram rejeitos pelas práticas locais de uso da terra (Fig. 26.2).

Embora boa parte dos trópicos possa sustentar uma agricultura intensiva, especialmente regiões montanhosas com solos vulcânicos, a alta produtividade natural de grandes por-

ções dos trópicos depende da presença da vegetação nativa (veja Cap. 8). Como os solos tropicais das baixadas contêm poucos nutrientes, a fertilidade natural de muitos ecossistemas tropicais é mantida pela constante reciclagem de nutrientes entre os detritos e as plantas vivas. Quebre o ciclo pelo desmatamento da floresta e os nutrientes serão perdidos. Em grande parte da Bacia Amazônica, as florestas desmatadas para pastagem de gados se tornaram tão inférteis que precisam ser abandonadas após 3 anos de exploração. Após a vegetação ter sido derrubada e queimada, a pastagem do gado leva os últimos nutrientes remanescentes do sistema. Para ser exato, as florestas se regenerarão, mas muitas décadas ou mesmo séculos precisarão passar antes que a natural fertilidade do ecossistema seja restaurada.

Muitas populações humanas nos Trópicos se mantêm pela prática da agricultura de itinerante, na qual pequenas partes da floresta são cortadas e queimadas para liberar nutrientes no solo, cultivadas por 2 ou 3 anos e então abandonadas em favor de uma nova área (Fig. 26.3). Uma área específica tipicamente se recupera suficientemente para repetir esse processo em 50–100 anos. Correspondentemente, enquanto somente de 1 a 2% forem cortados a cada ano, e assim 2 a 6% estejam sob cultivo em qualquer tempo, a terra pode sustentar esta prática. Este tipo de agricultura demanda pouco consumo de trabalho, materiais ou energia e tira vantagem dos processos sucessionais naturais das florestas tropicais, mas sustenta somente populações humanas esparsas. Quando a terra é cultivada mais intensamente pela preparação, fertilização, irrigação e retirada das ervas, a produtividade e a sustentabilidade de longo prazo podem aumentar grandemente, mas da mesma forma aumenta o consumo de trabalho e materiais, e assim também o custo dos produtos da agricultura.

Muitas regiões tropicais carecem de recursos minerais abundantes e seus povos precisam se fiar nas exportações da agricultura para pagar por alimentos básicos mais caros e para

importar os bens manufaturados que são considerados essenciais a um bom padrão de vida. Portanto, a terra tem sido desmatada para cultivar alimentos de venda direta para exportar para outras partes do mundo: café, açúcar, banana e carne, para citar apenas algumas. Enquanto este tipo de agricultura é sustentável em alguns solos, para uma grande parte dos trópicos ela significa um declínio na produtividade natural do ambiente e impossibilita usos da terra sustentáveis alternativos.

Há muitas formas de reduzir estes problemas. Entre as mais eficazes estão limitar a exploração das populações de recursos às produtividades máximas sustentáveis, considerando usos sustentáveis alternativos da terra, aumentar a intensidade da agricultura em terras capazes de sustentá-la, e aprimorar a distribuição de alimentos entre as áreas de produção e as áreas de consumo. A maioria destas soluções tem um preço. O planejamento para o uso sustentado reduz os retornos de curto prazo, e estas perdas devem ser feitas em toda parte para manter a saúde de um país. Aumentar a intensidade da agricultura demanda um uso desproporcionalmente maior de energia, trabalho e fertilizantes químicos, cada um contribuindo com seus próprios problemas. Basear-se em plantações selecionadas ou geneticamente modificadas para uma alta produção alimentar freqüentemente torna a agricultura mais vulnerável à eclosão de pragas e doenças.

Sustentar populações maiores também tem custos humanos. Os segmentos da população humana que são forçados pela terra empobrecida a importar alimentos também devem ganhar dinheiro para comprá-los; de outra forma, seriam reduzidos ao status de necessitados e se transformariam numa carga para outros segmentos da população. Enquanto o crescimento da população humana local não estiver associado à capacidade dos recursos locais em sustentá-lo, os desequilíbrios entre os consumidores humanos e os seus recursos continuarão a piorar.

Introduções de espécies alienígenas

Tanto intencionalmente quanto não-intencionalmente, os humanos têm levado outras espécies para toda parte que vijam (ver Cap. 25). Os aborígenes trouxeram os dingos (cães semidomesticados) para a Austrália; os polinésios trouxeram os ratos para o Havaí. Naturalmente as transposições globais de espécies por atividades humanas aumentaram imensamente desde que os europeus começaram a colonizar a maior parte do mundo há 500 anos. Foi estimado que 50.000 espécies alienígenas foram introduzidas nos Estados Unidos, alguns exemplos das quais são mostrados na Fig. 26.4. Estas incluem: plantas comestíveis; plantas para horticulturas e suas pragas; árvores de valor comercial; animais domésticos para trabalho ou alimento; animais domésticos, especialmente aves; mamíferos para esporte de caça; organismos patogênicos; e freqüentadores de habitações humanas e transporte como as numerosas baratas e os dentes-de-leão. O resultado deste movimento de espécies entre os continentes é uma flora e fauna globalmente distribuídas de espécies alienígenas que têm, em alguns casos, expulsado ou eliminado biotas locais. Completos 40% das espécies listadas nos Estados Unidos sob a Lei das Espécies Ameaçadas (*Endangered Species Act*) estão ameaçados por causa da competição, predação, parasitismo e herbivoria de espécies não nativas.



Fig. 26.3 A lavoura itinerante pode ser uma prática sustentável.

Pequenas fazendas de subsistência, como esta em Dominica, podem prover boa parte das necessidades de alimento de uma família sem sobreestressar o ambiente, enquanto a densidade populacional for baixa. Fotografia de Tom Bean/Corbis.

Um exemplo extremo de um país com uma flora e fauna predominantemente alienígenas é a Nova Zelândia, cuja maior parte da área está ocupada por plantas e animais introduzidos (Fig. 26.5). A floresta nativa foi cortada há muito tempo e substituída por pinheiros da América do Norte e eucaliptos da Austrália. As moas (aves grandes não-voadoras, que pastavam vegetação e comiam frutas) foram dizimadas pelos nativos Maori antes dos europeus chegarem, e os carneiros agora tomaram seu lugar. A maioria das aves do interior são as que foram transportadas da Inglaterra para minimizar a saudade dos colonizadores originais. Somente na ponta sul da Nova Zelândia de fato as florestas nativas de faias do sul persistem em fiordes remotos e úmidos. Da flora total de 2.500 espécies da Nova Zelândia, um total de 500 são introduções naturalizadas, e elas são responsáveis pela maioria da vegetação atual. Estas alienígenas prosperaram por diversas razões. A maior parte do habitat natural da Nova Zelândia tinha sido grandemente perturbado por madeiras, fazendas e criações, o que tornou a invasão pelas espécies herbáceas européias, acostumadas a perturbações e a paisagens intensamente cultivadas, relativamente fácil. Também, por causa de sua diversidade comparativamente baixa e sua estrutura comunitária simples, os ecossistemas insulares tendem a ser mais fáceis de ser invadidos do que os ecossistemas continentais – simplesmente há menos espécies nativas para proporcionar uma competição efetiva.

Embora as alienígenas possam expulsar as plantas e os animais nativos, eles não necessariamente rompem as funções ecossistêmicas, porque podem assumir os papéis ecossistêmicos das espécies nativas. Contudo, os efeitos das espécies introduzidas são freqüentemente difíceis de prever. Nos sistemas aquáticos, em particular, os consumidores introduzidos nos altos níveis da cadeia alimentar têm alterado seriamente as funções ecossistêmicas e causado mudanças básicas nas estruturas comunitárias. Predadores eficientes, como a perca do Nilo, introduzida no Lago Vitória no leste da África, e o labro-pavão, introduzido no Lago Gatun no Panamá, podem virtualmente eliminar os níveis tróficos inteiros de peixes planctívoros menores. Conseqüentemente, a quantidade do zooplâncton aumenta dramaticamente e as algas são eliminadas da água, reduzindo a produtividade total do ambiente. Desta forma, um único predador – denominado predador-chave neste caso, por causa de sua posição crítica na função ecossistêmica – pode mudar o caráter de um habitat para um estado qualitativamente diferente.

A conversão de habitat

Alterar a natureza básica de um habitat muitas vezes perturba os processos naturais de regeneração e controle. Como já vimos, desmatar uma floresta tropical sobre solos empobrecidos rompe o ciclo de nutrientes vinculado que mantém a produtividade da floresta. Também altera grandemente a estrutura física do solo, expondo-o a um lixiviamento intensificado e à luz do Sol. A produtividade da terra diminui abruptamente, e a erosão do solo pode aumentar cerca de 10 vezes ou mais. Na Bacia Amazônica, por exemplo, as taxas de erosão aumentaram de 6–10 t·ha⁻¹·ano⁻¹ em 1960, para 18–190 t·ha⁻¹·ano⁻¹ em 1985, amplamente uma conseqüência do desmatamento e da sobrepastagem.

Os problemas associados com a conversão de habitats não estão restritos às florestas tropicais. Nas pradarias americanas, o arado destruiu as densas redes radiculares das herbáceas

(a)



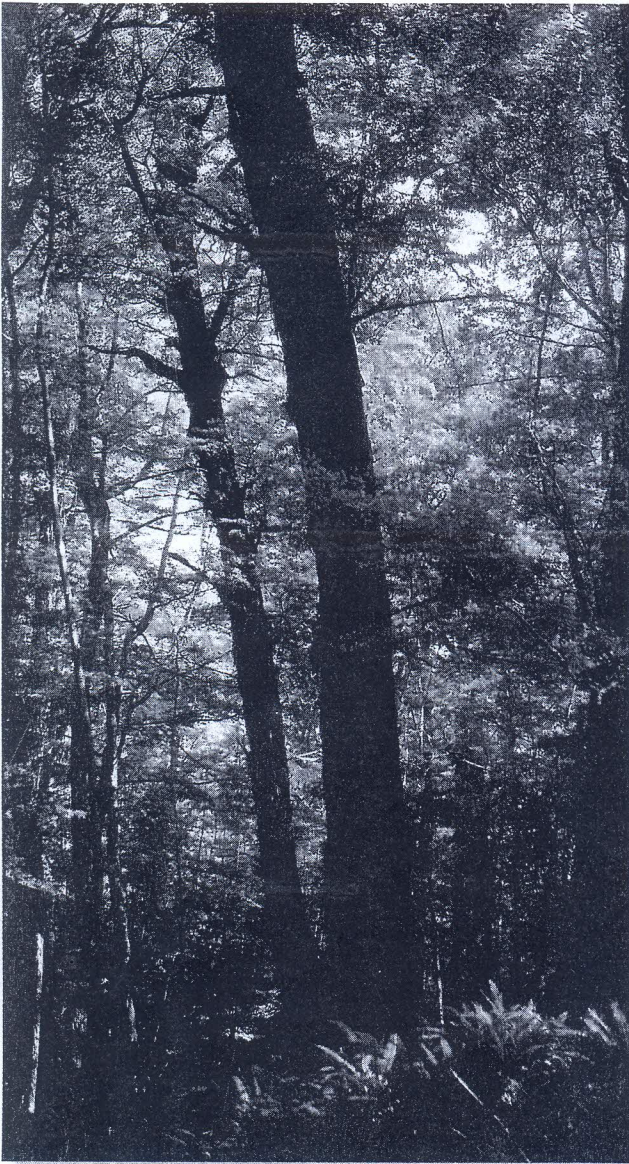
(b)



Fig. 26.4 Aproximadamente 50.000 espécies foram introduzidas nos Estados Unidos vindas da Europa nos últimos 500 anos. (a) A lisimáquia (*Lythrum salicaria*), introduzida da Europa, agora domina vastas áreas de habitat de alagados, como esta campina em Great Meadows National Wildlife Refuge, Massachusetts. (b) Os mexilhões-zebra introduzidos cobrem a concha de um mexilhão de água doce nativo. Fotografia (a) de Jeff Lepore/Photo Researchers; fotografia (b) de Grant Heilman/Runk/Schoenberger.

perenes que anteriormente retinham o solo. Uma seca prolongada no centro dos Estados Unidos durante os anos 1920–1939 transformou as pradarias originais convertidas em agricultura em “bacias de poeira” de solo esvoaçante (Fig. 26.6). O inventário global da camada superior do solo – as camadas superiores ricas em nutrientes do perfil do solo – sobre as culturas é cerca de 6.500 gigatoneladas (Gt). A erosão das culturas está atualmente em cerca de 100 gigatoneladas (Gt) por ano, ou cerca de cinco vezes mais rápida do que a formação de uma nova camada superior de solo. Assim, na taxa atual, as reservas de camada superior de solo das áreas cultivadas estará esgotada numa média de 65 anos, forçando um abandono de novas regiões agriculturalmente férteis e uma crescente dependência de fertilizantes químicos. Segundo algumas

(a)



(b)



Fig. 26.5 Muito poucas paisagens originais restam na Nova Zelândia. A maioria das florestas nativas (a) foram substituídas por paisagens de agricultura com plantas e animais introduzidos da Europa (b). Fotografia de R. E. Ricklefs.



Fig. 26.6 A aragem das pradarias contribuiu para a criação de “bacias de poeira”* do meio-oeste. Esta fazenda no meio-oeste foi abandonada durante o auge do período da desertificação em 1937. Cortesia do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, Serviço de Recursos de Conservação Natural.

*N.T.: Áreas desertificadas; no original, *dust bowl*.

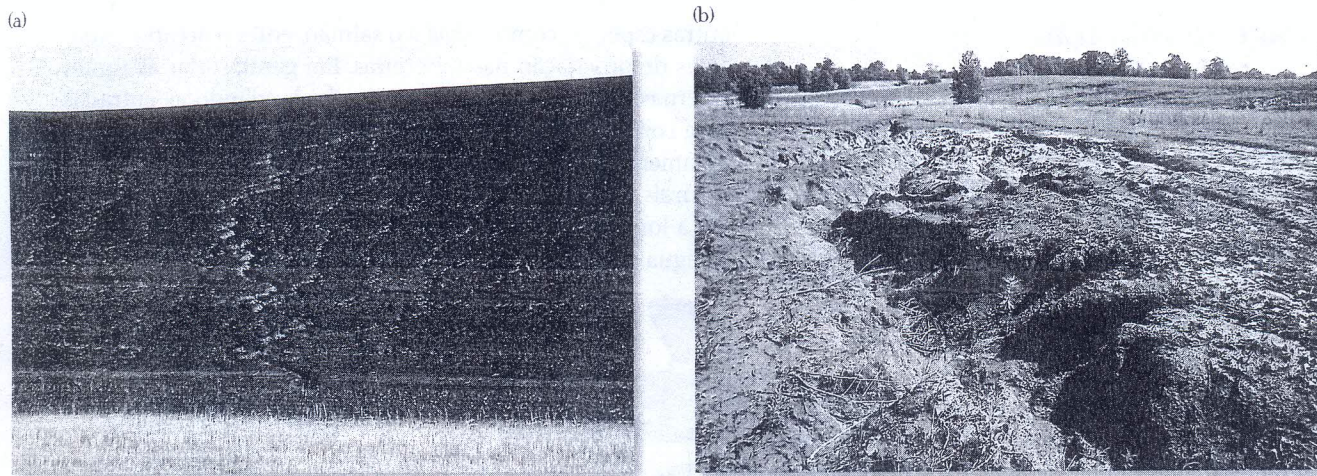


Fig. 26.7 Quase 1% do topo do solo terrestre é erodido a cada ano. É provável que ocorra erosão do solo e formação de voçorocas em terras aradas (a, Whitman County, Washington) e em terras sobrepastadas (b, Shelby County, Tennessee). Fotografias de Tim McCabe, cortesia do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, Serviço de Recursos de Conservação Natural.

estimativas, até 1% da camada superior do solo da terra é perdido por erosão a cada ano (Fig. 26.7).

Outros tipos de ambientes estão também sendo convertidos a altas taxas. As florestas de manguezal proporcionam uma proteção natural para as costas em muitas partes dos Trópicos. Onde foram derrubadas para combustível, criações de camarão e assentamentos humanos as áreas costeiras foram deixadas desprotegidas para as águas das inundações carregadas por furacões ferozes. Represar rios traz os benefícios do controle da inundação, da água para irrigação e da geração de energia, mas também aumenta o transporte de silte, bloqueia as migrações de peixes, altera as condições da água a jusante e pode mesmo mudar o clima local.

A irrigação

A água faz o deserto florescer. A espécie humana tem empregado vários esquemas de irrigação para aumentar a pro-

ductividade da terra desde o início da agricultura (Fig. 26.8). Somente recentemente, contudo, a irrigação foi aplicada em escalas imensas a terras que de outra forma seriam totalmente inadequadas para agricultura. Os benefícios são tremendos, mas assim também os custos, muitos dos quais surgem apenas após anos de irrigação lucrativa. Os principais custos são os efeitos ambientais da construção de represas, poços, canais e obras de contenção necessários para sustentar a irrigação; lençóis-de-água abaixados onde os poços são a fonte de água de irrigação; redução da qualidade da água do subsolo através da introdução de pesticidas e fertilizantes ou a concentração de elementos tóxicos naturalmente previstos; acumulação de sal em solos irrigados em zonas áridas; e transmissão de doenças por organismos aquáticos. Na maioria dos casos, os custos de empregar água para plantações, incluindo a carga de problemas ambientais futuros – são subavaliados pela população em geral através de taxas e outros subsídios.

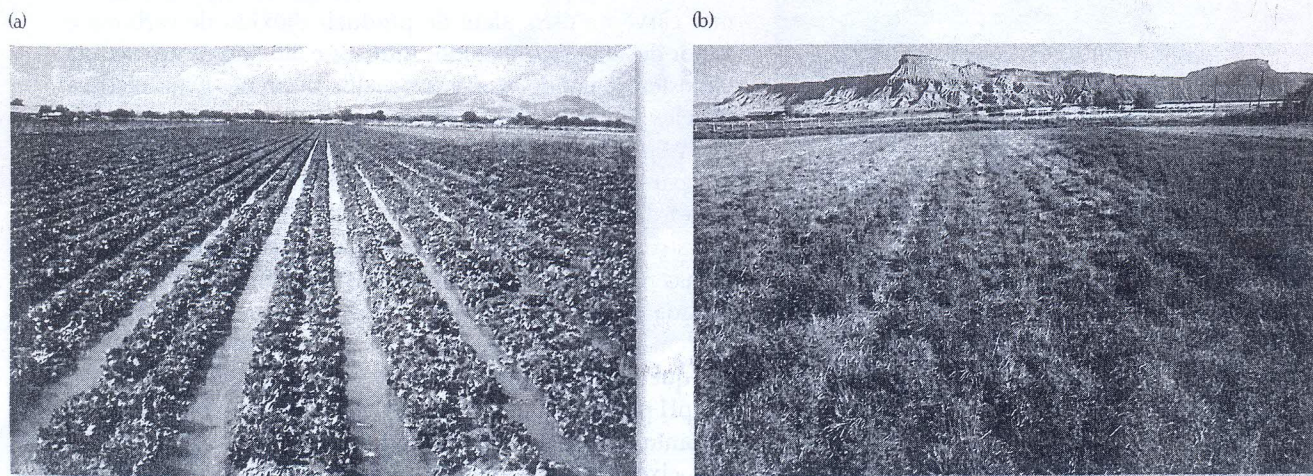


Fig. 26.8 A irrigação tem tanto benefícios quanto custos. (a) A irrigação pode transformar desertos em fazendas produtivas, como uma irrigação de sulco em algodão fez no Imperial Valley no sul da Califórnia. (b) Contudo, a acumulação de sal no solo que acompanha a irrigação pode danificar as plantações, como aconteceu neste campo de alfafa irrigada no Colorado. Fotografias de Tim McCabe, cortesia do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, Serviço de Recursos de Conservação Natural.

Fertilização e eutroficação

Qualquer substância que intensifique a produtividade de um habitat pode ser considerada um fertilizante. Aplicamos fertilizantes na agricultura para aumentar a produção, mas uma parte destes químicos toma seu caminho para o subsolo e de lá para os rios, lagos e, por fim, o oceano. Os nitratos, fosfatos e outros fertilizantes inorgânicos têm o mesmo efeito nos rios e nos lagos que têm nas terras cultivadas: eles aumentam a produção biológica (veja Cap. 8). A sobreprodução como uma consequência dessa fertilização artificial, freqüentemente chamada de eutroficação, pode causar uma mudança na composição de espécies de um rio ou lago. A entrada de fertilizantes inorgânicos pode também transformar águas oligotróficas e claras em ambientes turvos que são menos atrativos para recreação. Freqüentemente, as entradas de nutrientes perturbam os ciclos sazonais de uso e regeneração dos nutrientes em corpos naturais de água, levando à acumulação de material orgânico, altas taxas de decomposição bacteriana e desoxigenação da água. Sob tais condições, os peixes podem se sufocar e contribuir ainda mais para a carga de material orgânico na água (Fig. 26.9).

A entrada direta de resíduos orgânicos, como esgoto e o escoamento diário de alimentos, impõe um problema maior para a qualidade de água. Materiais orgânicos suspensos ou dissolvidos na água criam o que é conhecido como demanda biológica de oxigênio, significando que a decomposição desses materiais por bactérias consome o oxigênio presente na água. As entradas orgânicas não estão relacionadas com a produtividade natural do sistema e criam condições tais que uma corrente ou lago podem se tornar anóxicos por longos períodos e inadequados para muitas formas de vida.

Antes que a poluição da água fosse posta sob rígidos controles na América do Norte e na Europa, grandes seções de grandes rios se tornaram completamente anóxicas, eliminando populações de peixes locais e impedindo a migração de

outras espécies, como o *shad* e o salmão, entre o oceano e suas áreas de procriação nas cabeceiras. Em geral, cortar as fontes externas de nutrientes orgânicos, seja desviando as entradas para corpos de água maiores que possam absorvê-los ou por tratamento aprimorado do esgoto, pode restaurar as condições naturais. Os custos destas soluções têm sido mais do que pagos a longo prazo pelos benefícios de uma melhor qualidade da água para pescadores, a saúde pública e a recreação.



As toxinas têm se acumulado no ambiente

As toxinas são venenos que matam animais e plantas, interferindo em suas funções fisiológicas normais. Muitas toxinas ocorrem naturalmente, mas as atividades humanas vêm aumentando seu acúmulo no ambiente. As substâncias tóxicas podem ser divididas em diversas classes: os ácidos, os metais pesados, os compostos orgânicos e a radiação são as mais notáveis.

Os ácidos

As fontes antrópicas de ácidos são principalmente de dois tipos. A primeira ocorre nas áreas de mineração de carvão, onde compostos de enxofre reduzido, associados com carbono, são expostos ao oxigênio atmosférico. As bactérias de enxofre oxidam as formas de enxofre puro e de tiol (reduzido) de enxofre em sulfatos, que podem então ser convertidos em ácidos sulfúrico nos cursos de água que drenam as áreas de mineração – daí o termo **drenagem ácida de mina**. Em alguns lugares, a água se torna tão ácida que esteriliza o ambiente aquático (veja Fig. 7.15).

A segunda, e mais disseminada, é o problema da chuva ácida. O carvão e o óleo não são hidrocarbonetos puros; eles contêm compostos de enxofre e nitrogênio também. Acima de tudo, esses combustíveis fósseis são os remanescentes de plantas e animais que, quando vivos, continham nitrogênio e enxofre em suas proteínas e outras moléculas orgânicas. Queimar carvão e óleo, além de produzir dióxido de carbono e vapor de água, libera óxidos nitrosos e dióxido de enxofre na atmosfera. Quando esses gases se dissolvem nas gotas de chuva, eles são convertidos em ácidos e causam a precipitação ácida. Em áreas altamente industrializadas, o pH da chuva pode cair para um valor entre 3 e 4, o que é de 100 a 1.000 vezes a acidez da chuva natural.

As consequências da chuva ácida têm sido severas em algumas regiões, tais como no nordeste dos Estados Unidos, no Canadá e na Escandinávia. Os rios e os lagos nestas regiões tendem a ser oligotróficos e assim não contêm bases dissolvidas que compensem as entradas ácidas. Consequentemente, seu pH pode cair para um valor tão baixo quanto 4,0, ácido o bastante para interromper o crescimento de, ou mesmo matar, peixes e outros organismos. A chuva ácida pode também diminuir o pH do solo, que aumenta a taxa de lixiviação dos nutrientes do solo e precipita os compostos fosforosos, tornando-os indisponíveis para sua assimilação pelas raízes das plantas. As soluções para a chuva ácida são principalmente tecnológicas e econômicas: filtrar os gases nocivos dos efluentes

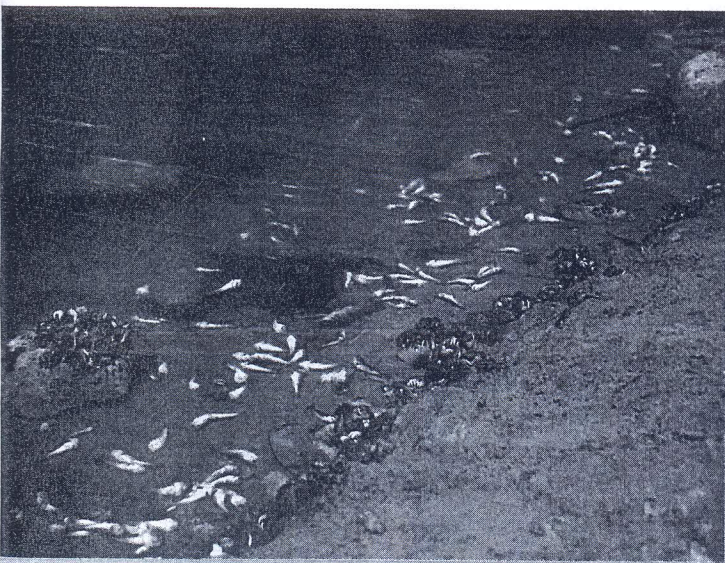


Fig. 26.9 A introdução de rejeitos orgânicos pode criar condições anóxicas em ambientes aquáticos. A mortandade de peixes num riacho próximo a Colorado Springs, Colorado, foi causada pela deficiência de oxigênio relacionada com a poluição orgânica. Fotografia de Shane Anderson/Saturdaze.

das usinas de energia e dos automóveis, encontrar alternativas energéticas para a queima de combustíveis fósseis e reduzir a demanda total por energia. Mesmo quando as emissões de enxofre e nitrogênio são reduzidas, contudo, os ecossistemas podem não retornar ao estado normal por décadas ou mesmo séculos (veja Fig. 8.1).

Metais pesados

Mesmo em baixas concentrações, o mercúrio, o arsênico, o chumbo, o cobre, o níquel, o zinco e outros metais pesados são tóxicos para a maioria das formas de vida. Eles são introduzidos no ambiente de diversas formas, principalmente como refugo da mineração e da fundição de minerais (Fig. 26.10), como produtos de rejeito de processos manufaturados, como fungicidas (tais como o arseniato de chumbo) e através da queima de combustíveis com chumbo (embora não mais vendido nos Estados Unidos, a gasolina com chumbo é ainda usada amplamente em todo o mundo). Os efeitos dos metais pesados são variados, mas incluem a interferência nas funções neurológicas nos vertebrados.

Muitos metais pesados tóxicos, incluindo os particulados de cobre e níquel liberados na atmosfera em fundições, acabam se acumulando nos solos. A concentração de cobre chega, em média, a 30 partes por milhão (ppm) em solos de zonas temperadas não poluídos. As concentrações acima de 100 ppm afetam adversamente os musgos, os líquens e os grandes fungos. A abundância de minhocas cai dramaticamente acima de 1.000 ppm, e a maioria das espécies de plantas vasculares não pode tolerar concentrações acima de 5.000 ppm (0,5%). Conforme os fungos morrem, a decomposição da matéria orgânica e a nitrificação do nitrogênio orgânico no solo diminuem. Num estudo na Suécia, em solos com níveis de cobre de 2.000 ppm, as populações fúngicas caíram para somente 20 a 30% dos seus níveis naturais.

As concentrações de metais pesados acima de 1.000 ppm podem se estender a 10–20 km dos sítios de fundição de metais. Chaminés mais altas, que dispersam os resíduos sobre áreas

mais amplas em concentrações mais baixas, podem mitigar esses efeitos, mas a resolução do problema demandará em última instância uma mudança na tecnologia de produção dos metais para reduzir os subprodutos tóxicos.

Os compostos orgânicos

Alguns compostos orgânicos naturais, como a nicotina e as piretrinas, são usados como pesticidas nas plantações, mas a maioria dos pesticidas orgânicos são substâncias muito mais mortais produzidas em laboratório, às quais as pragas não foram ainda expostas e não tiveram oportunidade de desenvolver resistência. Estes pesticidas orgânicos incluem os organomercúrios (como o metilmercúrio), os hidrocarbonetos clorados (DDT, lindano, clordano, dieldrin), os compostos organofosforados (paration, malation), os inseticidas carbonados e a herbicida triazina. Esses compostos fazem o seu trabalho na agricultura e no manejo de pestes, mas muitos se acumulam em outras partes do ecossistema, onde afetam adversamente a produção de plantas e as populações selvagens.

Os pesticidas modernos e os sistemas de efluentes estão sendo projetados para serem eficientes, com efeitos mínimos no ambiente. Infelizmente, este progresso é compensado por uma crescente disseminação e um uso mais intenso de químicos de todos os tipos na agricultura. Como os insetos e outras pragas podem desenvolver resistência aos pesticidas, os benefícios dos pesticidas têm muitas vezes vida curta e suas quantidades precisam ser aumentadas para atingir resultados continuados (ver Cap. 9). Através da pesquisa ecológica, podemos avaliar a vulnerabilidade dos sistemas naturais a estes poluentes, prescrever aplicações seguras e – talvez mais importante – encontrar alternativas adequadas para a guerra química da humanidade contra as pragas nas plantações. Alguns microorganismos – alguns deles geneticamente modificados para propriedades bioquímicas especiais – podem ser usados para metabolizar pesticidas e outros compostos tóxicos em subprodutos inofensivos. Este tipo

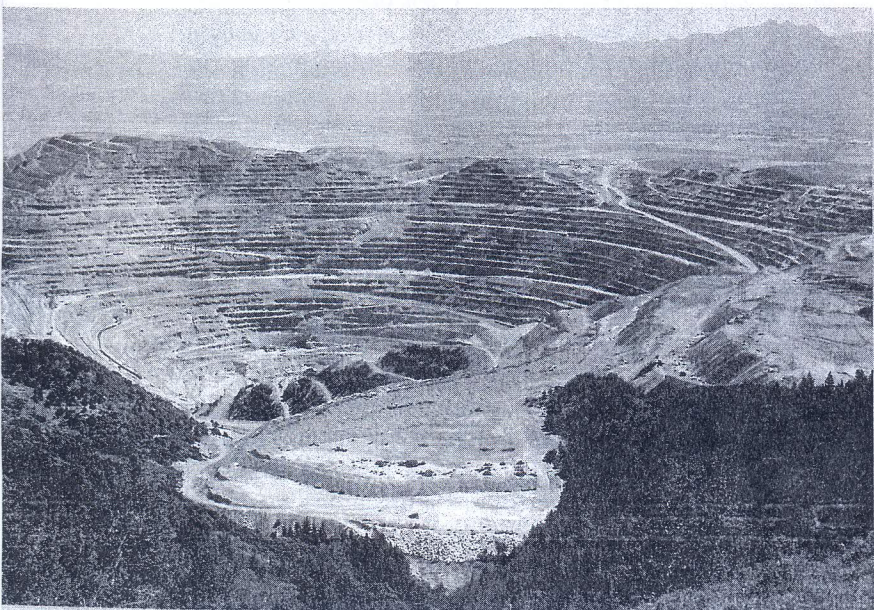


Fig. 26.10 Metais pesados tóxicos são liberados no ambiente pela mineração e fundição de minerais. As altas concentrações de metais nos materiais de rejeito provenientes desta mina de cobre a céu aberto em Bingham, Utah, impedirão a recolonização pelas plantas e a recuperação da vegetação natural. Fotografia de Gene Ahrens/Bruce Coleman.

de abordagem, usando agentes biológicos para limpar o ambiente e ajudar a restaurar os habitats, é denominado como **biorremediação**.

Um outro tipo de poluição ambiental tóxica causada por compostos orgânicos é aquele resultante de derramamento de óleo. O petróleo cru é uma mistura complexa de hidrocarbonetos, contendo até 1% de nitrogênio e 5% de enxofre. A poluição de petróleo ocorre nas fontes de produção de petróleo, raramente como resultado de rompimentos nos quase 100.000 km de tubulação no mundo, e mais freqüentemente nos oceanos devido à exploração submarina e à quebra de navios tanques (Fig. 26.11). Estas perdas atingem o valor de 3 a 6 milhões de toneladas de óleo anualmente, ou cerca de 0,1–0,2% da produção de petróleo global. O petróleo mata cobrindo as superfícies dos organismos e, como os hidrocarbonetos são solventes orgânicos, rompendo as membranas biológicas. Com o tempo, as manchas de óleo se dispersam por evaporação das frações mais leves, emulsão de outras frações na água e pela intemperização e decomposição microbiana do restante. Mas certos tipos de sistemas sensíveis, como os recifes de coral, podem levar décadas para se recuperarem completamente.

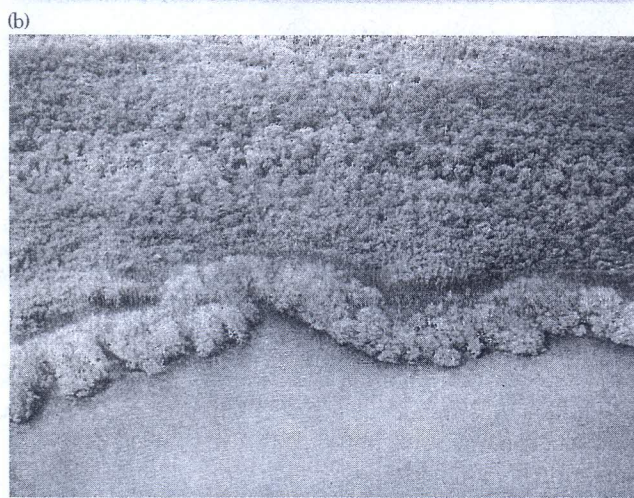
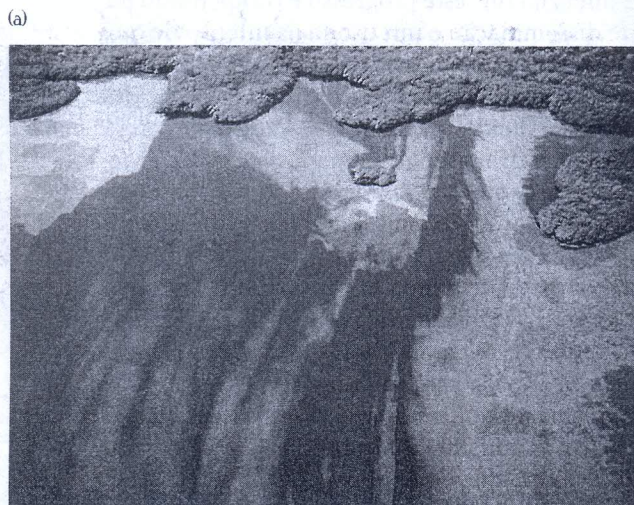


Fig. 26.11 Os derramamentos de petróleo ocorrem mais freqüentemente no oceano. (a) Vazamento de óleo de um petroleiro danificado que se aproximava da costa do Caribe no Panamá. (b) Faixa de manguezais mortos pelo derramamento de óleo. Fotografias de Carl C. Hansen, cortesia do Smithsonian Tropical Research Institute.

A radiação

A radiação vem num amplo espectro de intensidades de energia, variando de ondas longas de rádio, geralmente inofensivas, e radiação infravermelha, passando pela danosa radiação ultravioleta de comprimentos de onda mais curtos, até os raios cósmicos, extremamente energéticos, e partículas subatômicas liberadas pela desintegração de núcleos de átomos (decaimento radioativo). As fontes naturais criam um nível mínimo de fundo inevitável de radiação. Em algumas circunstâncias, as substâncias radioativas naturais, como o gás radônio presente nos solos em regiões com leitos rochosos, podem se concentrar e impor riscos à saúde pública. Tais perigos são menores, contudo, quando comparados com os perigos extremos da radiação que pode resultar de acidentes em usinas nucleares de potência, como os que ocorreram em Three Mile Island, Pennsylvania, em 1979, e em Chernobyl, Ucrânia, em 1986, dos produtos de rejeito da geração de potência nuclear e da guerra nuclear. Os efeitos da radiação intensa sobre as formas de vida podem ser vistos claramente nos resultados de experimentos nos quais os habitats foram expostos a fontes de radiação.

A possibilidade de uma guerra nuclear está diminuindo, à medida que as superpotências desmontam seus arsenais nucleares e as nações voltam sua atenção para problemas econômicos sociais e ambientais. Ainda, os rejeitos radioativos produzidos por usos pacíficos do átomo impõem problemas de disposição sérios. Dependendo do produto de rejeito, a radiação não decai a níveis inofensivos por milhares ou mesmo milhões de anos – muito além da duração de vida dos recipientes de rejeito, para não mencionar o das instituições às quais o seu cuidado está confiado. O problema da disposição de rejeitos pode em última instância limitar o uso da energia nuclear.



A poluição atmosférica ameaça o ambiente numa escala global

Devido à circulação da atmosfera e dos oceanos, certos tipos de poluição têm conseqüências globais: seus efeitos se estendem muito além das fontes de poluição propriamente ditas. De longe, a pior destas mudanças no ambiente são a destruição da camada de ozônio na atmosfera superior e o aumento do dióxido de carbono e outros gases de "estufa".

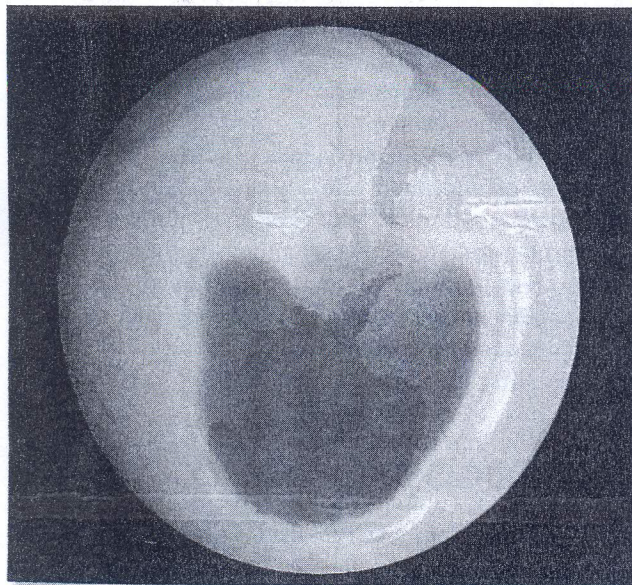
A camada de ozônio e a radiação ultravioleta

O ozônio (O_3) é uma forma molecular de oxigênio altamente reativa como oxidante, capaz de oxidar quimicamente moléculas orgânicas e obstruir seu funcionamento adequado. Conseqüentemente, o ozônio é tóxico para a vida animal e vegetal, mesmo em pequenas concentrações. Próximo à superfície da Terra, o ozônio é produzido pela oxidação do oxigênio molecular (O_2) na presença de óxido nitroso (NO_2) e luz do Sol. Como o NO_2 é um produto da combustão da gasolina, o ozônio pode ser produzido em altos níveis nas descargas de exaustão que poluem as cidades, particularmente onde há forte

luz do Sol. Em Los Angeles, por exemplo, que ficou bem conhecida pelo seu *smog** antes das medidas de controle de poluição, as concentrações de ozônio na atmosfera no nível do solo às vezes atingiram 0,5 ppm, que é talvez de 20-50 vezes o nível normal, e é danoso à saúde humana, às plantações e à vegetação natural.

O ozônio é também produzido na atmosfera superior, mas lá ele tem o efeito benéfico de blindar a superfície da Terra contra a radiação ultravioleta, através da absorção da radiação solar de comprimento de onda curto (especialmente no intervalo de 200-300 nm) (ver Cap. 2). Infelizmente, certas substâncias, entre elas os átomos de cloro, causam a quebra do ozônio. Os níveis de cloro na atmosfera superior vêm aumentando devido à liberação de clorofluorcarbonos (CFCs) na atmosfera, que são usados como propelentes em latas de aerossóis e como refrigerantes em condicionadores de ar e outros sistemas de refrigeração. Decréscimos no ozônio estratosférico de 50% ou mais – os assim chamados **buracos de ozônio** – vêm sendo observados nas altas latitudes em ambos os hemisférios (I Fig. 26.12).

A elevação resultante da radiação ultravioleta na superfície da Terra aumentará a incidência de câncer de pele, porque o DNA também absorve a radiação ultravioleta entre 280 e 320 nm de comprimento de onda, e esta energia absorvida causa danos às moléculas de DNA. É de grande preocupação o fato de a radiação ultravioleta também danificar os dispositivos fotossintéticos das plantas, e poderia provocar reduções na produção primária, a base da cadeia alimentar para o ecossistema inteiro. Estas reduções já foram observadas nos oceanos em torno da Antártida. A ameaça é



I Fig. 26.12 Os buracos de ozônio são áreas onde a concentração de ozônio caiu 50% ou mais. Esta imagem de satélite artificialmente colorida, obtida em 3 de outubro de 1999, mostra o desenvolvimento de um grande buraco de ozônio sobre a Antártida. Cortesia da NASA.

tão grande, que a comunidade internacional, através da Convenção de Viena para Proteção da Camada de Ozônio (1985), e o Protocolo de Montreal (1987) acordaram em eliminar o uso de todos os CFCs até o fim do século XX, e até 1997 na comunidade européia. Mesmo que seja muito cedo para percebermos o resultado, podemos antecipar que esta ação reverterá o dano que já foi feito e permitirá que o ozônio atmosférico retorne aos seus níveis de equilíbrio natural talvez dentro de um século.*

O dióxido de carbono e o efeito estufa

O dióxido de carbono (CO_2) ocorre naturalmente na atmosfera. Sem ele, a Terra seria um lugar muito frio, porque a maior parte da luz do Sol absorvida pela superfície da Terra seria reirradiada de volta para as profundezas frias do espaço. Como está agora, o CO_2 forma um cobertor isolante sobre a superfície terrestre que deixa o ultravioleta de comprimento de onda curto e a luz solar visível passarem, mas retarda a perda de calor na forma de radiação infravermelha de comprimento de onda longo (veja Cap. 2). O vidro nas estufas funciona com o mesmo princípio, e assim a função do CO_2 na atmosfera é conhecida como efeito estufa.

Em determinadas épocas no passado distante, a concentração de CO_2 na atmosfera foi bem maior do que durante a recente experiência humana, e a temperatura média da Terra era correspondentemente muito mais alta (veja Cap. 7). Conforme o CO_2 atmosférico declinou nos últimos 50-100 milhões de anos, a Terra experimentou um gradual resfriamento, resultando numa expansão das zonas climáticas temperada e boreal, e culminando na Era Glacial dos últimos milhões de anos. O problema que nós enfrentamos no aquecimento global não é que a Terra não tenha nunca estado tão quente, mas que o clima mudará tão rapidamente que os sistemas ecológicos – para não mencionar a população humana – não serão capazes de acompanhar.

Antes de 1850, a concentração de CO_2 na atmosfera era da ordem de 280 ppm (0,028%). Durante os últimos 150 anos, os quais testemunharam um tremendo aumento na queima de madeira, carvão, óleo e gás para produção de energia, ela aumentou para mais de 350 ppm (I Fig. 26.13). Metade desse aumento ocorreu durante os últimos 30 anos, e a taxa de aumento parece estar crescendo. Esta mudança na química da atmosfera criou receios de um grande aquecimento do clima da Terra. As estimativas atuais do aquecimento global no próximo século sugerem um aumento na temperatura global média de qualquer coisa entre 2°C e 6°C.

O nível de dióxido de carbono na atmosfera representa um equilíbrio entre os processos que adicionam CO_2 e os que o removem. Antes da Revolução Industrial, a adição de CO_2 à atmosfera pela respiração de organismos terrestres (aproximadamente 120 bilhões de toneladas de carbono por ano) era equilibrada pela produção primária bruta da vegetação terrestre, e a quantidade total na atmosfera era mantida em equilíbrio. Os humanos adicionam CO_2 na atmosfera pela queima

*N.T.: A palavra *smog* é formada pela junção de *smoke* – fumaça – com a palavra *fog* – nevoeiro, seco ou úmido. Esta combinação é perigosa, e é causa de muitas doenças e mortes nas grandes metrópoles. No Brasil, São Paulo é uma cidade onde isso ocorre.

*N.T.: O CFC ainda é usado, embora esteja diminuindo rapidamente. A NASA e o NOAA, que monitoram a atmosfera superior, esperam uma recuperação em cerca de 50 anos.

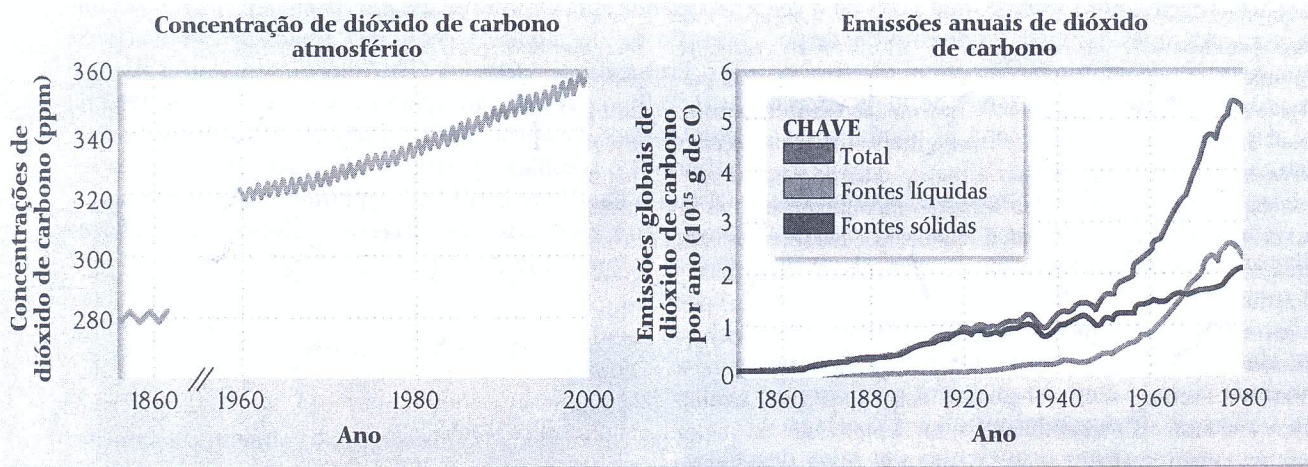


Fig. 26.13 A concentração atmosférica de dióxido de carbono aumentou em cerca de 25% nos últimos 150 anos. A concentração de dióxido de carbono na atmosfera e as emissões globais de dióxido de carbono da combustão de combustíveis fósseis líquidos (petróleo) e sólidos (carvão) vêm aumentando desde 1860. Medidas precisas da concentração de dióxido de carbono vêm sendo registradas no Observatório de Mauna Loa, Havaí, que se localiza longe das regiões que concentram o consumo de combustíveis fósseis, somente após o fim da década de 1950. Dados de A. M. Solomon, J. R. Trabalka, D. E. Reichle, e C. M. Masters, in *Atmospheric Carbon Dioxide and the Global Dioxide Cycle*, U. S. Department of Energy, Washington, D.C. (1985), pp. 1-13 e 63-80.

de combustíveis fósseis e pelo desmatamento e queima de florestas. Atualmente, o desmatamento é responsável pela adição de quase 2 bilhões de toneladas de carbono na atmosfera anualmente; a queima de combustíveis fósseis adiciona cerca de 5 bilhões de toneladas. Assim, as atividades humanas aumentaram o fluxo de carbono para a atmosfera em cerca de 6% – talvez mais, talvez menos, dependendo de que números usamos.

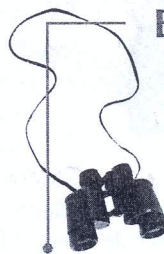
A atmosfera troca dióxido de carbono com os oceanos, onde o carbono em excesso é precipitado como carbonato de cálcio nos sedimentos (veja Fig. 7.7). Foi estimado que, no presente, os oceanos absorvem mais carbono do que liberam para a atmosfera por uma margem de cerca de 2,4 bilhões de toneladas anualmente. A despeito do fato de os oceanos serem o sumidouro líquido de dióxido de carbono, suas capacidades em absorver o carbono são menos do que metade da entrada antrópica na atmosfera, e parte daquela capacidade pode já ter sido usada para contrabalançar o excesso de produção de dióxido de carbono pelos sistemas terrestres. Não importa que aritmética seja feita, ela mostra que as concentrações de dióxido de carbono na atmosfera estão aumentando muito rapidamente.

As temperaturas mais quentes causadas pelo efeito estufa terão efeitos diversos na produtividade. No lado positivo, as temperaturas mais quentes alongam a estação de crescimento e aceleram o metabolismo, e dessa forma tendem a intensificar a produção nos ambientes úmidos. Como as plantas demandam dióxido de carbono para a fotossíntese, este efeito provavelmente será intensificado pela concentração mais alta de CO_2 na atmosfera. Contrabalançando este benefício, está a probabilidade de aumentar o estresse de seca nos ambientes áridos, que pode reduzir a produção agrícola e acelerar a conversão de terras de pastagens e plantações sobreutilizadas em terras improdutivas. Outros problemas potenciais incluem a inundação de comunidades costeiras pela elevação do nível do mar alimentada pelo derretimento das calotas de gelo polar e pela expansão de água oceânica aquecida.



A ecologia humana é o último desafio

A população humana continua a aumentar em todo o mundo numa taxa de quase 2% ao ano. As taxas mais altas de aumento populacional estão em alguns dos países mais pobres. Mesmo se o crescimento populacional parasse hoje, os problemas resultantes permaneceriam. A atual população humana está consumindo os recursos mais rápido do que são regenerados pela biosfera, isso ao mesmo tempo em que libera tantos rejeitos que a qualidade do ambiente na maior parte das regiões da Terra está se deteriorando numa taxa alarmante. Se pretendemos viver num mundo habitável para as futuras gerações, nossa prioridade máxima deve ser atingir uma relação sustentável com o resto da biosfera. Isso exigirá pôr um fim ao crescimento populacional, desenvolver fontes de energia sustentáveis, proporcionar a regeneração de nutrientes e outros materiais e restaurar habitats deteriorados.



ECÓLOGOS NO CAMPO

Avaliando a capacidade de suporte da Terra para a espécie humana

As pessoas têm tentado por muitos anos compreender quantas pessoas a Terra pode suportar. As estimativas de uma população humana sustentável variam entre cerca de 0,6 bilhão – aproximadamente um décimo da atual população – até várias dezenas de bilhões. Estas estimativas dependem de certas hipóteses críticas acerca dos limites do tamanho da população humana e do nível de afluência para cada indivíduo. O que se quer dizer com o nível de afluência inclui não apenas os bens materiais, como moradia, televisões, viagens de recreação e outras medidas de qualidade de vida,

mas também o custo de produzir e entregar aquelas necessidades humanas mais básicas — alimento. Nos Estados Unidos, para cada quilojoule de energia alimentar que consumimos, 10 quilojoules de energia de combustível fóssil foram queimados em fertilizantes, máquinas de fazenda, empacotamento e transporte exigido para colocar aquela comida nas nossas mesas. A maioria das estimativas da capacidade de suporte da Terra para a humanidade excluem as contribuições dos combustíveis fósseis, que são recursos não-renováveis com altos custos ambientais. Assim, para ser sustentável, as necessidades de energia humana devem ser atendidas por fontes renováveis como o vento, o Sol e a geração de energia hidroeétrica e produção de etanol de plantações.

Mathis Wackernagel, um membro da Força Tarefa na Planning Healthy and Sustainable Communities, na Universidade de British Colúmbia, desenvolveu o conceito de **pegada ecológica** baseado no etanol como uma fonte de energia sustentável. Fazendo uma hipótese generosa sobre quanto etanol pode ser produzido a partir de um hectare de plantação fértil, Wackernagel estimou que os cidadãos da Holanda, por exemplo, precisariam cada um de 5,3 hectares de terra fértil para prover suas demandas de energia. A área da Holanda contém somente 1,7 hectare de terra para cada um de seus 16 milhões de habitantes. Claramente, para sustentar seu atual padrão de vida, que é um dos mais altos do mundo, os holandeses teriam que importar imensas quantidades de energia, como aliás eles atualmente o fazem na forma de combustíveis fósseis. Os Estados Unidos têm a maior pegada ecológica de 10,3 hectares por indivíduo. Assim, mesmo embora havendo 6,7 hectares de terra cultivável produtiva disponível por pessoa, a população no seu nível atual não é sustentável para os recursos renováveis domésticos.

Globalmente, há somente 1,7 hectare de terra de produtividade agrícola média disponível para cada um dos atuais 6 bilhões de habitantes da Terra. Isto é claramente insuficiente para sustentar a atual população num alto padrão de vida de acordo com as hipóteses de Wackernagel. O que acontecerá quando a população humana aumentar para 10 bilhões, como está previsto acontecer em meados deste século? O padrão médio de vida diminuirá conforme as fontes de combustíveis forem esgotadas, ou novas tecnologias surgirão para manter o passo com o crescimento populacional? O ecólogo David Pimentel, da Universidade de Cornell, estimou que a Terra pode sustentar 2 bilhões de pessoas no padrão de vida atualmente gozado nos Estados Unidos. O ecólogo Paul Ehrlich, da Unidade de Stanford, coloca um nível muito mais baixo. De acordo com muitos ecólogos, populações maiores, incluindo os atuais 6 bilhões, podem ser sustentadas somente numa média mais baixa de padrão de vida.

Sob muitos aspectos, a espécie humana avançou além das fronteiras dos mecanismos ecológicos usuais de restrição e regeneração. Nossa capacidade em explorar fontes não-renováveis de energia, na forma de depósitos de carvão, de petróleo e de gás, temporariamente removeu as limitações alimento-energia ao nosso crescimento populacional. A maioria da população humana não é mais sustentada pela terra que ocupa. Nossas capacidades tecnológicas e econômicas em alocar novas terras e recursos empurraram as retroalimentações populacionais dependentes da densidade muito para o futuro.

Nosso curso atual, contudo, leva a uma direção previsível. Não é um destino convidativo: aumento de falta de energia, materiais e alimentos; muitas pessoas vivendo na pobreza e na doença; um ambiente pessimamente poluído; atritos políticos e sociais num crescendo. Estes mecanismos de controle populacional inevitavelmente entrarão no jogo, assim como o fazem para muitas espécies.

O futuro não precisa ser assim (Fig. 26.14). Onde escapamos das restrições naturais, devemos substituí-las pela nossa própria restrição, onde produzimos produtos de rejeitos que não podem ser regenerados pelos sistemas ecológicos, deve-

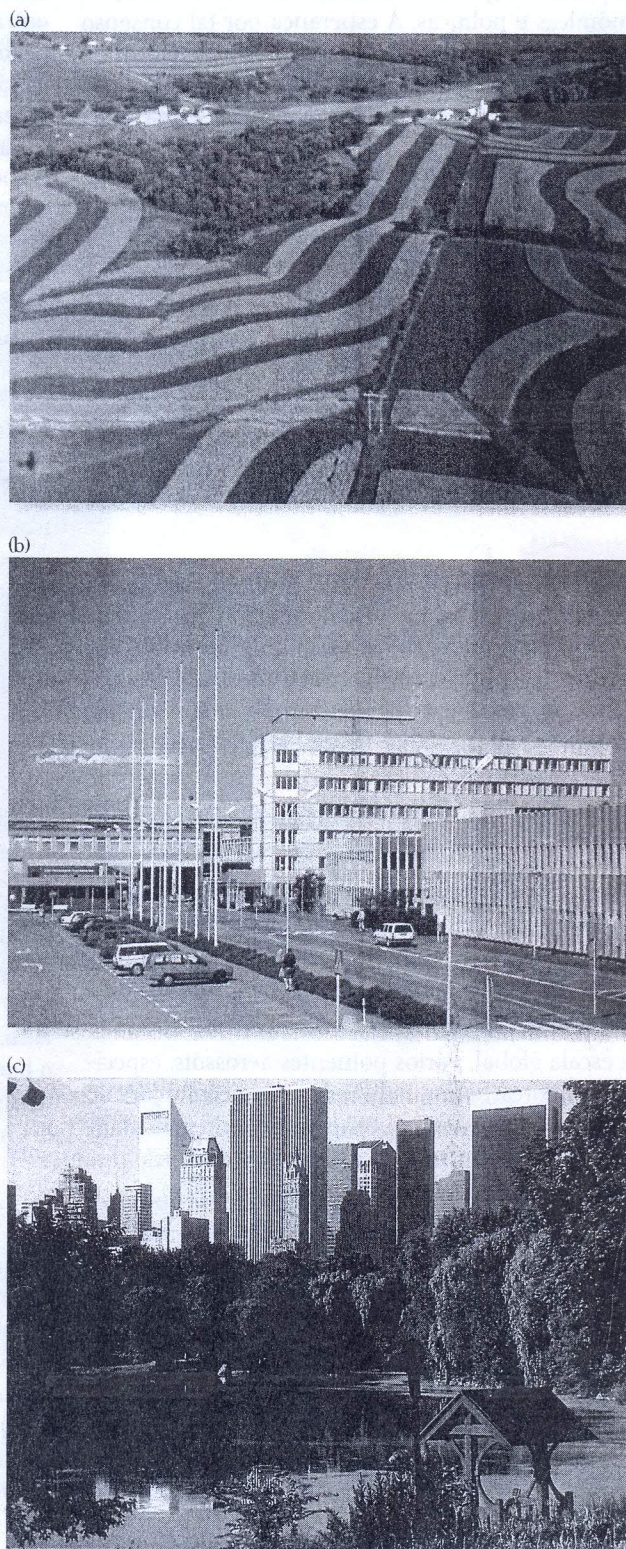


Fig. 26.14 Os esforços de conservação podem nos ajudar a assumir o nosso próprio lugar na economia da natureza. (a) Fazenda produtiva e bem mantida; (b) um parque industrial bem planejado; (c) um assentamento urbano atrativo com bastante natureza inserida. Fotografia (a) de Ron Nichols, cortesia do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, Serviço de Recursos de Conservação Natural; fotografia (b) de Macduff Everton/Corbis; fotografia (c) Sotographs/The Stock Market.

mos encontrar formas de reciclá-los nós mesmos. O consumo de energia deve retroagir, e a produção deve ser baseada crescentemente em fontes de energia renováveis, como o Sol, o vento e a conversão de biomassa em combustíveis líquidos. Atingir estas metas exigirá um consenso entre as instituições sociais, econômicas e políticas. A esperança por tal consenso jaz em tornar as pessoas conscientes da deterioração global da qualidade de vida humana e em educá-las nos princípios ecológicos básicos que devem formar as bases de um sistema auto-sustentável.

Acima de tudo, a raça humana tem a escolha de adotar uma nova atitude em direção à sua relação com a Natureza. Somos parte da Natureza, não à parte da Natureza. Até o ponto em que nossa inteligência, cultura e tecnologia têm nos dado o poder para dominar a Natureza, devemos também usar nossas capacidades para nos impor uma auto-regulação e auto-restrição. Este é o nosso maior desafio. Nós fomos fantasticamente bem-sucedidos em nos tornar a espécie tecnológica. Nossa sobrevivência agora depende em nos tornarmos a espécie ecológica e assumir nosso próprio lugar na Economia da Natureza.



Resumo

1. A chave para a sobrevivência da população humana é desenvolver interações sustentáveis com a biosfera. Isto exigirá um controle do crescimento populacional humano ou uma crescente dependência de fontes de energia renováveis e a total reciclagem dos resíduos materiais.

2. Manter uma biosfera sustentável significa que devemos conservar os processos ecológicos responsáveis por sua produtividade.

3. As ameaças locais principais aos processos naturais são a sobreexploração de recursos, as introduções de espécies alienígenas, a conversão de habitats, a irrigação, o enriquecimento com rejeitos orgânicos (eutroficação) e a produção de materiais antrópicos.

4. Numa escala global, vários poluentes aerossóis, especialmente os clorofluorcarbonos, reduziram as concentrações do ozônio (O_3) na atmosfera superior, proporcionando mais radiação ultravioleta danosa atingindo a superfície da Terra.

5. Os níveis crescentes de dióxido de carbono na atmosfera, produzidos pela queima de combustíveis fósseis, ameaçam aumentar a temperatura média da Terra por cerca de $2^{\circ}C$ a $6^{\circ}C$, com consequências potencialmente adversas para os ecossistemas naturais e a agricultura. Além disso, os níveis do mar se elevarão devido ao derretimento das calotas polares de gelo e expansão das águas oceânicas aquecidas.

6. As soluções para a crise ambiental exigirão novas atitudes que promovam a sustentabilidade e a auto-restrição.

cie da Terra, onde sua alta reatividade e poder oxidante podem danificar os tecidos vegetais e animais. O "ozônio bom" ocorre na estratosfera, numa altitude de cerca de 25 km, onde sua capacidade de absorver a radiação ultravioleta (UV) protege os organismos na superfície da Terra dos danos da radiação ao DNA e outras biomoléculas. Numa escala global, a quantidade de ozônio bom é decrescente, enquanto as concentrações de ozônio mau nas áreas urbanas é crescente. A concentração de ozônio é medida em unidades de Dobson (DU); as concentrações médias na estratosfera estão em cerca de 300 DU, mas podem variar de 100 a 500 DU globalmente. As concentrações mais baixas ocorrem sobre os pólos, particularmente sobre o continente da Antártida. Estas baixas concentrações são denominadas buracos de ozônio. O tamanho do buraco de ozônio sobre a Antártida, que varia sazonalmente, é maior em setembro e outubro. Muitos cientistas estão seriamente preocupados, porque o tamanho do buraco vem crescendo durante as últimas décadas.

Em setembro de 2000 um instrumento da NASA determinou que o buraco de ozônio da Antártida estava três vezes maior do que a área dos Estados Unidos — o maior tamanho até então registrado para ele. O buraco, com cerca de 28,3 milhões de quilômetros quadrados, foi medido em 3 de setembro de 2000, e estava então com cerca de 1,1 milhão de quilômetros quadrados maior do que o registro anterior, medido em setembro de 1998. Devido à concentração dos níveis de ozônio bom estratosférico estar atualmente próximo de seu ponto mais baixo desde que as medidas começaram, especula-se que os níveis de radiação UV na superfície da Terra (especialmente os níveis da forma potente UV-B, que ocorre nos comprimentos de onda 280-315 nm) estão próximos de seu ponto máximo já atingido. De fato, para cada 1% de decréscimo nas concentrações de ozônio, há 2% de acréscimo na radiação UV na superfície da Terra.

Os impactos da diminuição de ozônio vêm sendo mais estudados para os organismos aquáticos na Antártida. Rousseaux et al. (1999), contudo, estudaram os efeitos do UV-B na planta *Gunnera magellanica* conforme o buraco de ozônio se expandia durante 1997 para expor a Terra do Fogo na ponta sul da América do Sul. Ele mostrou que, mesmo com uma cobertura freqüente de nuvens, o buraco de ozônio estratosférico deplecionado causou uma intensidade maior de radiação UV medida no nível do solo e grandes aumentos nos danos ao DNA.

TESTE SEU CONHECIMENTO

1. Que medidas podem ser tomadas para reduzir os níveis de ozônio troposférico? O que pode ser feito para afetar os níveis de ozônio estratosférico?

2. Considerando os dados de Rousseaux et al. (1999) mostrados no Quadro 26.1, qual é o número projetado de dias com níveis de ozônio abaixo de 250 DU para o ano 2050? Dos dados no Quadro 26.2, qual é a quantidade de danos esperados no DNA para doses de UV de 1.000 J por m^2 ?

3. Visite o sítio da Agência de Proteção Ambiental (Environmental Protection Agency) para o Ultraviolet Monitoring Program através de Practicing Ecology on the Web em <http://www.whfreeman.com/ricklefs>. Siga as conexões intituladas "Access Data" e "Graphs and Reports". Solicite um gráfico do UV diário para Riverside, Califórnia e para o Denali National Park, Alasca, para o ano de 1998. De quanto os



PRATICANDO ECOLOGIA

TESTE SEU CONHECIMENTO

Impactos da Diminuição do Ozônio

O ozônio atmosférico ocorre em duas faixas de altitudes. O "ozônio mau" é um componente do smog urbano na troposfera, próximo à superfí-



QUADRO 26.1 A depleção de ozônio através do tempo medida durante a primavera (setembro-outubro), Parque Nacional de Tierra del Fuego, Argentina

Ano	Número de dias com ozônio < 250 DU
1983	2
1984	8
1985	3
1986	2
1987	2
1988	5
1989	4
1990	6
1991	15
1992	5
1994	16
1996	7
1997	19
1998	7

A depleção de ozônio foi medida por um satélite da NASA e é expressa como o número de dias em um ano em que a concentração de ozônio é menor do que 250 DU. Os dados para 1993 e 1995 não estavam disponíveis. Os dados são adaptados de Rousseaux et al. (1999).

níveis máximos de UV variam em meados de agosto para os dois sítios? Se assumirmos que os dados no Quadro 26.2 se aplicam às plantas em geral (o que está errado com esta hipótese?), qual seria a diferença esperada nos danos de DNA para os dois sítios?

QUADRO 26.2 Unidades danificadas de DNA para as folhas de *Gunnera magellanica* em função da dose de UV

UV (J/m ²)	Unidade danificada de DNA
300	0,018
380	0,025
400	0,028
500	0,030
550	0,025
625	0,031
700	0,035
750	0,043

O dano ao DNA foi medido pela formação de cyclobutane pyrimidine dimer, os métodos estão descritos em, e os dados modificados de, Rousseaux et al. (1999).



Leituras Sugeridas

Arrow, K., et al. 1995. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Science* 268:520-521.

- Ausubel, J. H. 1991. A second look at the impacts of climate change. *American Scientist* 79:210-221.
- Bongaarts, J. 1994. Can the growing human population feed itself? *Scientific American* 270:36-42.
- Bongaarts, J. 1994. Population policy options in the developing world. *Science* 263:771-776.
- Browder, J. O. 1992. The limits of extractivism. *BioScience* 42:174-182.
- Clark, W. C. 1989. Managing planet earth. *Scientific American* 261:46-64. (See also other articles in this issue.)
- Cohen, A. N., and J. T. Carlton. 1998. Accelerating invasion rate in a highly invaded estuary. *Science* 279 (23 January): 555-557.
- Daily, G. C., and P. R. Ehrlich. 1992. Population, sustainability, and Earth's carrying capacity. *BioScience* 42:761-771.
- Davis, G. R. 1990. Energy for planet earth. *Scientific American* 263:54-62.
- Goldemberg, J. 1995. Energy needs in developing countries and sustainability. *Science* 269:1058-1059.
- Graedel, T. E., and P. J. Crutzen. 1995. *Atmosphere, Climate, and Change*. Scientific American Library, W. H. Freeman, New York.
- Graham, R. L., M. G. Turner, and V. H. Dale. 1990. How increasing CO₂ and climate change affect forests. *BioScience* 40:575-587.
- Hecht, S. B. 1993. The logic of livestock and deforestation in Amazonia. *BioScience* 43:687-695.
- Houghton, R. A., D. L. Skole, C. A. Nobre, J. L. Hackler, K. T. Lawrence, and W. H. Chomentowski. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature* 403 (20 January): 301-304.
- Hughes, T. P. 1994. Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science* 265:1547-1551.
- Katzman, M. T., and W. G. Cale, Jr. 1990. Tropical forest preservation using economic incentives. *BioScience* 40:827-832.
- Pimentel, D., et al. 1987. World agriculture and soil erosion. *BioScience* 37:277-283.
- Pimentel, D., et al. 1991. Environmental and economic effects of reducing pesticide use. *BioScience* 41:402-409.
- Pimentel, D., L. Lach, R. Zuniga, and D. Morrison. 2000. Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *BioScience* 50(1):53-65.
- Rasmussen, P. E., K. W. T. Goulding, J. R. Brown, P. R. Grace, H. H. Janzen, and M. Körschens. 1998. Long-term agroecosystem experiments: Assessing agricultural sustainability and global change. *Science* 282 (30 October): 893-896.
- Repetto, R. 1990. Deforestation in the Tropics. *Scientific American* 262:36-42.
- Ricklefs, R. E., Z. Naveh, and R. E. Turner. 1984. Conservation of ecological processes. *The Environmentalist* 4 (Suppl. 8):1-16.
- Rousseaux, M. C., et al. 1999. Ozone depletion and UVB radiation: Impact on plant DNA damage in southern South America. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 96:15310-15315.
- Rowland, F. S. 1989. Chlorofluorocarbons and the depletion of stratospheric ozone. *American Scientist* 77:36-45.
- Schneider, S. H. 1989. The greenhouse effect: Science and policy. *Science* 243:771-782.
- Stoddard, J. L., D. S. Jeffries, A. Lükewille, et al. 1999. Regional trends in aquatic recovery from acidification in North America and Europe. *Nature* 401 (7 October): 575-578.
- Tibbetts, J. 1996. Farming and fishing in the wake of El Niño. *BioScience* 46:566-569.
- Vitousek, P. M., P. R. Ehrlich, A. H. Ehrlich, and P. A. Matson. 1986. Human appropriation of the products of photosynthesis. *BioScience* 36:368-373.