

Terra: o único planeta conhecido a possuir solo e água (NASA)



## Os Solos ao Nosso Redor

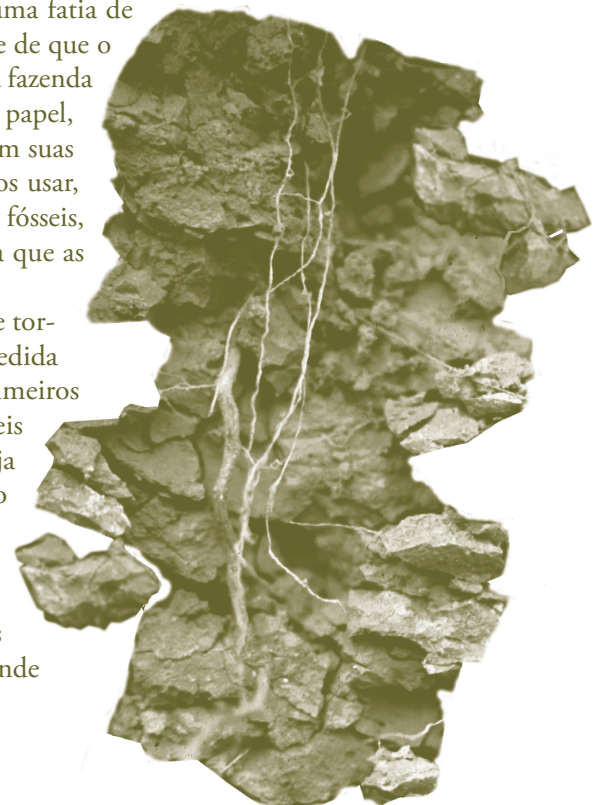
*No fim, conservaremos apenas  
o que amamos.  
Amaremos apenas o que compreendemos.  
E compreenderemos apenas  
o que nos ensinaram.*  
— BABA DIOUM, *CONSERVACIONISTA  
AFRICANO*

Os **solos** são cruciais para a vida na Terra. Desde a destruição da camada de ozônio e o aquecimento global até o desmatamento das florestas tropicais e a poluição da água, os ecossistemas terrestres são impactados de maneira diversificada por processos que acontecem no solo. A qualidade do solo determina, de forma significativa, a natureza dos ecossistemas das plantas e a capacidade da terra em sustentar a vida animal e a dos seres humanos. À medida que nos tornamos mais urbanizados, menos contato direto temos com o solo, e perdemos de vista o quanto dependemos dele para nossa prosperidade e sobrevivência. A verdade é que, no futuro, nosso grau de dependência do solo tende a aumentar, e não a diminuir.

Os solos continuarão a nos suprir com quase todo o nosso alimento (com exceção daquele que pode ser retirado dos oceanos). Quantos, ao comermos uma fatia de pizza, se lembram de que a massa teve origem em um campo de trigo; e de que o queijo surgiu com o capim, o trevo e o milho enraizados no solo de uma fazenda de gado leiteiro? A maioria das fibras que usamos para a fabricação de papel, compensados de madeira e roupas originaram-se de plantas que fincaram suas raízes em solos de terras agrícolas e florestas naturais. Embora possamos usar, como substitutos, plásticos e fibras sintéticas derivados de combustíveis fósseis, ainda assim continuaremos a depender dos ecossistemas terrestres para que as nossas necessidades sejam supridas.

Além disso, a biomassa que cresce sobre os solos, provavelmente, se tornará um importante estoque para combustíveis e manufaturados, à medida que as fontes finitas de petróleo se esgotem durante este século. Os primeiros sinais do mercado nessa direção podem ser vistos nos biocombustíveis fabricados a partir de produtos vegetais, nas tintas feitas do óleo de soja e nos plásticos biodegradáveis sintetizados a partir do amido de milho (Figura 1.1).

Uma dura realidade do século XXI é a de que o aumento da população humana fará a demanda por bens materiais crescer em questão de bilhões, ao mesmo tempo em que os recursos naturais disponíveis para prover esse abastecimento encontram-se ameaçados, devido, em grande





**Figura 1.1\*** À esquerda: Os biocombustíveis produzidos a partir de produtos agrícolas são muito menos poluentes e têm menos impacto no aquecimento global do que os combustíveis à base de petróleo. A soja e outros cultivos podem servir como substitutos do petróleo na produção de tintas não tóxicas (abaixo), plásticos e outros artigos. O amido de milho pode ser transformado em plásticos biodegradáveis utilizados na confecção de sacos e amendoins de isopor para embalagem (canto superior direito). (Fotos: cortesia de R. Weil)

parte, à degradação do solo e à sua urbanização. É evidente que devemos aprofundar nosso conhecimento e manejo do solo como fornecedor de recursos vitais, se desejarmos sobreviver enquanto espécie, sem comprometer o *habitat* das gerações presentes e futuras de todos os seres vivos.

A Terra, nosso único lar na vastidão do universo, está coberta pelos elementos que sustentam a vida: ar, água e solo. No entanto, estamos vivendo em uma época em que as atividades humanas vêm alterando a própria natureza desses elementos. Além disso, a destruição da camada de ozônio na estratosfera representa uma ameaça de maior incidência de radiação ultravioleta sobre nós. As concentrações crescentes de gases, como o dióxido de carbono e metano, estão aquecendo o planeta e desestabilizando o clima global. As florestas tropicais úmidas – e a extraordinária variedade de espécies vegetais e animais que elas contêm – estão desaparecendo em um ritmo sem precedentes. Fontes de água subterrânea têm sido contaminadas em muitas áreas e exauridas em outras. Em várias partes do planeta, a capacidade de os solos produzirem alimentos vem diminuindo, e o número de pessoas que precisam ser alimentadas, aumentando. Por todos esses motivos, promover um desenvolvimento global balanceado é o nosso grande desafio.

Para isso, serão necessários novos conhecimentos e tecnologias para proteger o ambiente e, paralelamente, garantir a produção de alimentos e biomassa a fim de atender às demandas da sociedade. Assim, o estudo da ciência do solo nunca foi tão importante para os agricultores, silvicultores, engenheiros civis, ecólogos e gestores de recursos naturais.

\* N. de T.: As palavras e expressões que aparecem na Figura 1.1 podem ser traduzidas da seguinte forma: *Biodiesel*: biodiesel; *no smoking*: proibido fumar; *powered by soy biodiesel*: funcionando à base de biodiesel de soja; *printed with soy ink*: impresso com tinta de soja.

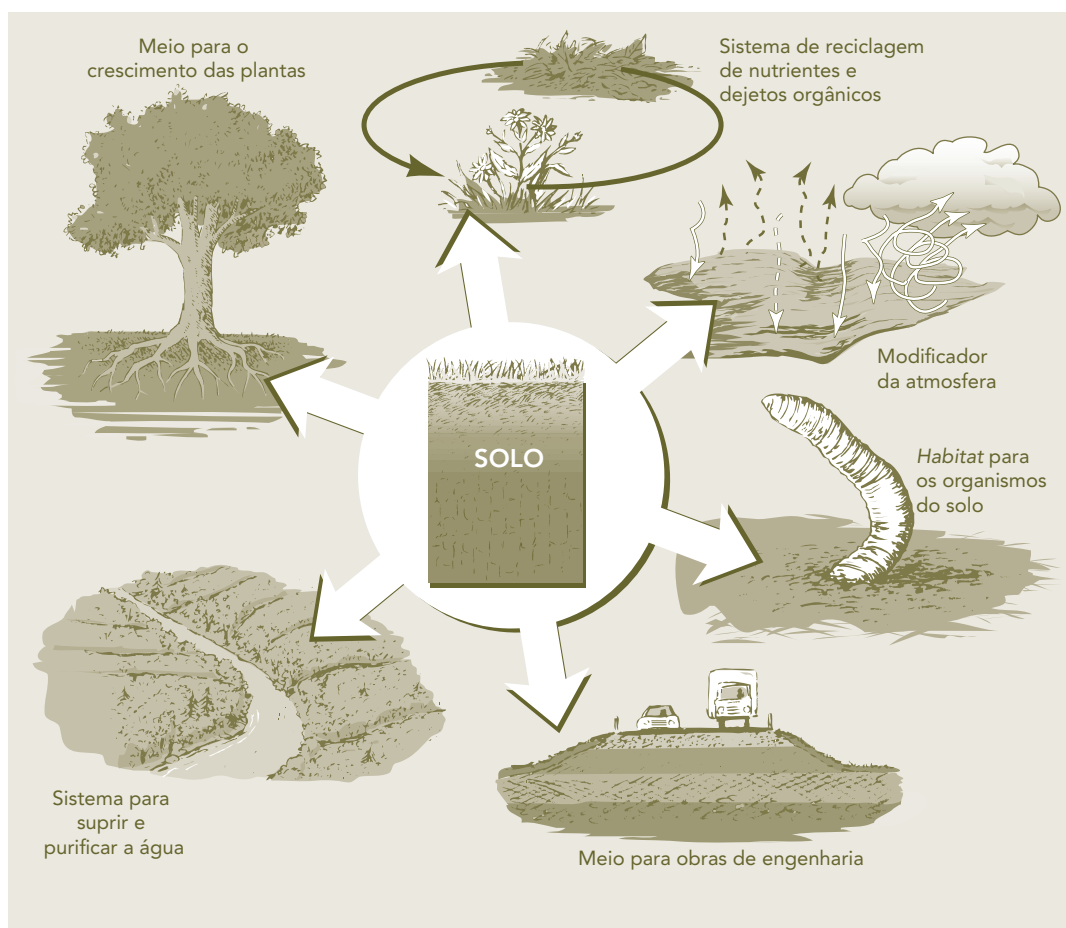
## 1.1 O SOLO COMO MEIO PARA O CRESCIMENTO DAS PLANTAS

Em qualquer ecossistema, quer ele seja o quintal de sua casa, uma fazenda, uma floresta ou uma bacia hidrográfica local, os solos desempenham papéis fundamentais (Figura 1.2). Em primeiro lugar, ele atua como meio de suporte para o crescimento das plantas. O solo proporciona o ambiente onde as raízes podem crescer, fornecendo-lhes os nutrientes essenciais para a planta como um todo. As propriedades do solo geralmente determinam a natureza da vegetação presente e, indiretamente, a quantidade e a diversidade de animais (incluindo os humanos) que essa flora pode sustentar.

Quando pensamos nas florestas, pradarias, gramados e campos de cultivo que nos rodeiam, geralmente imaginamos as **partes aéreas das plantas** (caules, ramos, folhas e flores), mas nos esquecemos das **raízes**, em razão de estarem abaixo da superfície do solo – apesar de constituírem metade do mundo vegetal. E, como as raízes das plantas estão comumente fora do nosso campo de visão, e talvez por isso sejam de difícil estudo, sabemos muito menos sobre as interações solo-ambiente que acontecem abaixo da superfície do solo do que as que ocorrem acima dela – apesar de ambas serem de grande importância para entendê-las separadamente. Para começar, vamos listar em resumo o que uma planta pode obter do solo no qual suas raízes se proliferam:

- Sustentação física
- Água
- Proteção contra toxinas
- Ar
- Regulação da temperatura
- Elementos nutrientes

Vídeo sobre a germinação das plantas:  
<http://plantsinmotion.bio.indiana.edu/plantmotion/earlygrowth/germination/germ.html>



**Figura 1.2** As muitas funções do solo podem ser agrupadas em seis papéis ecológicos vitais.

A massa do solo fornece sustentação física, ancorando o sistema radicular para que a planta não tombe. Às vezes, o vento forte ou a neve pesada derruba uma planta cujo sistema radicular teve seu crescimento restringido em razão de o solo ser raso ou devido a outras condições adversas (Figura 1.3).

Para obter energia, as raízes das plantas dependem do processo de respiração. E, já que a respiração da raiz, assim como a nossa, consome oxigênio ( $O_2$ ) e exala dióxido de carbono ( $CO_2$ ), uma importante função do solo é a *aeração* – a qual permite que o  $CO_2$  saia e o  $O_2$  do ar fresco entre na rizosfera. Essa aeração é feita por meio da rede de poros do solo.

Os poros do solo têm outra função igualmente importante: a de absorver a água da chuva e retê-la, de modo que ela possa ser aproveitada pelas raízes das plantas. Quando as folhas das plantas estão expostas à luz solar, necessitam de um fluxo contínuo de água que será usado na sua refrigeração, no transporte de nutrientes, na manutenção do turgor e na fotossíntese. Mas, como as plantas usam a água de forma contínua, e na maioria dos lugares chove apenas ocasionalmente, a capacidade de retenção de água do solo é essencial para a sobrevivência da planta. Um solo profundo pode armazenar água em quantidade suficiente para permitir que as plantas sobrevivam por muito tempo, mesmo em períodos de chuvas escassas (Figura 1.4).

O solo também controla as variações de temperatura. Talvez você se lembre de quando escavava a terra do seu jardim, em uma tarde de verão, e percebia o quanto a superfície do solo estava quente e, apenas alguns centímetros abaixo, estava bem mais fria. A explicação para isso é que as propriedades isolantes do solo protegem a parte mais profunda do sistema radicular das grandes oscilações de temperatura que muitas vezes ocorrem na sua superfície.

As **substâncias fitotóxicas** podem estar presentes nos solos como resultado da atividade humana, ou podem ser produzidas pelas raízes das plantas, micro-organismos ou, ainda, por reações químicas naturais. Um solo em boas condições irá proteger as plantas das concentrações tóxicas de tais substâncias por meio da ventilação de gases, da decomposição ou adsorção de toxinas orgânicas ou, ainda, da supressão de organismos produtores de substâncias tóxicas. Por outro lado, alguns micro-organismos do solo produzem substâncias estimuladoras do crescimento que podem melhorar o vigor das plantas.

Os solos fornecem **nutrientes minerais** às plantas. Um solo fértil irá fornecer, continuamente, nutrientes de origem mineral dissolvidos em quantidades e proporções relativas e adequadas para um saudável crescimento das plantas. Os nutrientes incluem elementos metálicos como potássio, cálcio, ferro e cobre, assim como elementos não metálicos como nitrogênio, fósforo, enxofre e boro. A planta extrai todos esses elementos da solução do solo e incorpora a maioria deles em milhares de diferentes compostos orgânicos que constituem os tecidos vegetais. Os animais, normalmente, obtêm nutrientes minerais indiretamente do solo pela ingestão de plantas. Em algumas circunstâncias, comer solo significa satisfazer a necessidade que os animais (incluindo o homem) têm de ingerir sais minerais (Quadro 1.1).

Observe os elementos essenciais na tabela periódica interativa: [www.webelements.com](http://www.webelements.com)

Dos 92 elementos químicos que ocorrem naturalmente, 17 já foram comprovados como sendo **elementos essenciais**, o que significa que as plantas não podem crescer e completar seus ciclos de vida sem eles (Tabela 1.1). Os elementos essenciais utilizados pelas plantas em quantidades relativamente significativas são chamados de **macronutrientes**; e aqueles usados em quantidades menores são conhecidos como **micronutrientes**.

Além dos nutrientes minerais essenciais mencionados, as plantas também podem usar pequenas quantidades de compostos orgânicos dos solos. No entanto, a absorção dessas substâncias não é necessária para o crescimento normal das plantas. Os metabólitos orgânicos, enzimas e componentes estruturais que compõem a matéria seca das plantas consistem principalmente em carbono, hidrogênio e oxigênio, que a planta obtém do ar e da água (por meio da fotossíntese), e não do solo.



**Figura 1.3** Este solo raso e encharcado não permitiu que as raízes das árvores crescessem de forma suficientemente profunda para evitar que elas tombassem com o peso da neve e a força do vento do inverno. (Foto: cortesia de R. Weil)



**Figura 1.4** Nesta savana do leste da África, uma família de elefantes africanos encontra sombra sob a copa de uma enorme árvore de acácia. A foto foi tirada em meados de uma longa estação seca, quando nenhuma chuva havia caído durante quase cinco meses. As raízes das árvores estão ainda utilizando a água da estação chuvosa anterior que foi armazenada a muitos metros dentro do solo. O capim seco tem sistema radicular raso e já lançou sementes e morreu – ou permanece em um estado dormente.

(Foto: cortesia de R. Weil)

As plantas *podem* ser cultivadas sem qualquer tipo de solo em soluções nutritivas (um método denominado **hidroponia**); mas, nestas condições, mecanismos que cumpram as funções de sustentação física para as plantas, exercidas pelo solo, devem ser incluídos nas casas de vegetação onde se fazem os cultivos hidropônicos – mantidos a um alto custo de tempo, de energia e de práticas de manejo. Embora a produção hidropônica em pequena escala para algumas plantas de alto valor comercial seja viável, a produção mundial de alimentos e fibras, bem como a manutenção dos ecossistemas naturais, sempre dependerá de milhões de quilômetros quadrados de solos produtivos.

## QUADRO 1.1

Barro para o jantar?<sup>a</sup>

Você provavelmente está pensando: “Barro (ou melhor, solo) para o jantar? Eca!” Sabemos que existem vários pássaros, répteis e mamíferos conhecidos por irem a lugares específicos para “lamber” a terra. Mas há também a involuntária e acidental ingestão de solo por seres humanos (especialmente crianças), o que as expõe às toxinas presentes no ambiente (Capítulo 15). Contudo, os mais sofisticados moradores dos países industrializados, inclusive antropólogos e nutricionistas, acham difícil acreditar que alguém possa, propositalmente, ingerir solo. No entanto, muitos registros de documentações científicas sobre o assunto mostram que várias pessoas, rotineiramente, comem terra – em quantidades de 20 a 100 g por dia. O hábito da geofagia (“comer terra” deliberadamente) é comum em sociedades tão díspares como as da Tailândia, Turquia, as áreas rurais do Estado do Alabama (EUA) e a área urbana de Uganda (Figura 1.5). Imigrantes do sul da Ásia, no Reino Unido, trouxeram a prática de comer terra para cidades como Londres e Birmingham. Na verdade, os cientistas que estudam esse hábito sugerem que a geofagia seja um comportamento humano generalizado e normal. Crianças e mulheres (especialmente quando grávidas) parecem mais propensas à geofagia do que homens adultos. Além disso, pessoas pobres comem solo mais comumente do que as da classe média.

As pessoas com tendência à geofagia não comem um solo qualquer, mas um solo em particular, seja ele uma argila endurecida de um ninho de cupins, um solo esbranquiçado do barranco de um rio ou, ainda, a argila escura de certas camadas profundas do solo. Essas pessoas, em diferentes lugares e circunstâncias, buscam também solos ricos em cálcio; outras procuram solos com altos teores de argila ou solos vermelhos ricos em ferro. Curiosamente, ao contrário de muitos outros animais, os seres humanos raramente comem solo para obter sal. Entre os vários bene-



**Figura 1.5** Barras de solo argiloso vendidos para consumo humano em um mercado em Kampala, Uganda. (Foto: cortesia de Peter W. Abrahams, *University of Wales, UK*).

fícios gerados pela ingestão de terra, podemos citar: o fornecimento de nutrientes minerais (principalmente ferro), a desintoxicação de substâncias venenosas ingeridas (consultar o Capítulo 8, sobre a adsorção pelas argilas), o alívio contra dores de estômago, a sobrevivência em tempos de fome e também por prazer. Os geofagistas são conhecidos por se deslocarem a grandes distâncias para satisfazerem seus desejos de comer determinado solo. Mas, antes que você saia por aí atrás de um cardápio à base de solo, considere os perigos da geofagia. Em primeiro lugar, será difícil desenvolver o gosto por esse “alimento”. Além disso, há vários inconvenientes em se ingerir solo (em particular, o solo superficial): infecção por vermes parasíticos; envenenamento por chumbo; desbalançamento de sais minerais (por causa da adsorção de alguns desses sais e liberação de outros) e desgaste prematuro dos dentes.

<sup>a</sup> Este quadro é baseado em um capítulo do fascinante livro de Abrahams (2005) e em um artigo de revisão de literatura de Stokes (2006).

## 1.2 O SOLO COMO REGULADOR DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Para que possamos obter melhores resultados no que diz respeito à qualidade dos nossos recursos hídricos, devemos reconhecer que a maior parte da água dos nossos rios, lagos, estuários e aquíferos é transportada através do solo ou sobre sua superfície. Imagine, por exemplo, uma forte chuva caindo sobre as colinas ao longo de um rio. Se a chuva consegue se infiltrar no solo, parte da água pode nele ser armazenada e usada pelas árvores e outras plantas; a outra

**Tabela 1.1** Elementos essenciais para o crescimento das plantas e suas fontes<sup>a</sup>

As formas químicas que as plantas mais comumente absorvem são mostradas entre parênteses, com o símbolo químico do elemento em negrito.

Macronutrientes: usados em quantidades relativamente grandes (>0,1% do peso seco da planta)		Micronutrientes: usados em quantidades relativamente pequenas (<0,1% do peso seco da planta)
Principalmente do ar e da água	Principalmente dos sólidos do solo	Dos sólidos do solo
Carbono (CO <sub>2</sub> )	Cátions:	Cátions:
Hidrogênio (H <sub>2</sub> O)	Cálcio (Ca <sup>2+</sup> )	Cobre (Cu <sup>2+</sup> )
Oxigênio (O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O)	Magnésio (Mg <sup>2+</sup> )	Ferro (Fe <sup>2+</sup> )
	Nitrogênio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Manganês (Mn <sup>2+</sup> )
	Potássio (K <sup>+</sup> )	Níquel (Ni <sup>2+</sup> )
		Zinco (Zn <sup>2+</sup> )
	Ânions:	Ânions:
	Nitrogênio (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Boro (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , H <sub>4</sub> BO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )
	Fósforo (H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Cloro (Cl <sup>-</sup> )
	Enxofre (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Molibdênio (MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )

<sup>a</sup> Muitos outros elementos são absorvidos dos solos pelas plantas, mas não são essenciais para o crescimento delas (consulte Epstein e Bloom, 2005).

parte pode infiltrar-se lentamente através das camadas do solo até chegar aos lençóis freáticos ou, finalmente, emergir nos mananciais (nascentes) que abastecem os rios durante meses ou anos na forma de fluxos de base. Mesmo se a água estiver contaminada, à medida que for penetrando nas camadas superiores do solo, ela vai sendo purificada por processos nele atuantes, os quais removem muitas impurezas e eliminam possíveis organismos causadores de doenças.

Agora, compare o cenário anterior com outro em que o solo é pouco profundo ou impermeável, de maneira que a maior parte da água da chuva não possa penetrá-lo e, por isso, escorre sobre sua superfície morro abaixo, erodindo o solo e arrastando-o junto com os detritos existentes sobre sua superfície, na forma de enxurrada lamacenta que, ganhando cada vez mais velocidade, deságua de uma vez só em um rio. Nota-se, então, que o tipo de solo e o sistema de manejo têm uma grande influência sobre a *pureza*, bem como a quantidade de água que segue em direção aos sistemas aquáticos. Para aqueles que vivem em uma casa na zona rural perto de um terreno com drenos de um tanque séptico, o solo – que atua como um filtro purificador – é a principal barreira que se interpõe entre as descargas do vaso sanitário e água corrente da pia da cozinha!

### 1.3 O SOLO COMO RECICLADOR DE MATÉRIAS-PRIMAS

O que seria do nosso planeta se o solo não funcionasse como um reciclador? Sem o reaproveitamento dos nutrientes, as plantas e os animais teriam ficado sem alimentos há muito tempo. O mundo provavelmente estaria coberto por uma camada de centenas de metros de altura formada por resíduos de plantas e cadáveres de animais. Sem dúvida, a reciclagem é um processo vital nos ecossistemas, seja nas florestas, fazendas ou cidades. O sistema solo desempenha um papel fundamental nos importantes ciclos geoquímicos. Isso porque o solo tem a capacidade de assimilar grandes quantidades de resíduos orgânicos, transformando-os no benéfico **húmus**, que converte os nutrientes minerais (existentes nos resíduos) em formas que podem ser utilizadas pelas plantas e animais e devolve o carbono

para a atmosfera como dióxido de carbono, o qual, novamente, irá se tornar parte dos organismos vivos por meio da fotossíntese das plantas. Alguns solos podem acumular grandes quantidades de carbono na forma de matéria orgânica, tendo assim um grande impacto sobre as mudanças globais, como o tão discutido *efeito estufa* (Seções 11.1 e 11.9).

## 1.4 O SOLO COMO AGENTE MODIFICADOR DA ATMOSFERA

Histórico da ciência da mudança climática:  
[www.aip.org/history/climate/timeline.htm](http://www.aip.org/history/climate/timeline.htm)

O solo interage de várias maneiras com a camada de ar da Terra. Em locais onde o solo está seco, mal-estruturado e desnudo, suas partículas podem ser arrastadas pelos ventos, fazendo com que grandes quantidades de poeira sejam adicionadas à atmosfera. Isso reduz a visibilidade, aumenta os riscos para a saúde humana devido à inalação do ar poeirento e também altera a temperatura do ar e de todo o planeta. O solo úmido, bem-estruturado e coberto com vegetação pode impedir que o ar fique empoeirado. A evaporação da umidade do solo é uma importante fonte de vapor d'água para a atmosfera, pois altera a temperatura e a composição do ar e influi nos padrões climáticos. Os solos também respiram, ou seja, absorvem oxigênio e outros gases, como o metano, enquanto liberam gases, como o dióxido de carbono e o óxido nitroso. Essas trocas gasosas entre o solo e a atmosfera têm uma significativa influência na composição atmosférica e no aquecimento global.

## 1.5 O SOLO COMO HABITAT PARA SEUS ORGANISMOS

Comunidades de plantas e animais em solos de pastagens:  
[www.blm.gov/nstc/soil/index.html](http://www.blm.gov/nstc/soil/index.html)

Quando falamos em proteger os ecossistemas, a maioria das pessoas imagina uma velha floresta com a sua abundante vida selvagem, ou talvez um estuário com bancos de ostras e cardumes de peixes. No entanto, os ecossistemas mais complexos e diversificados da Terra são, na realidade, os subterrâneos! O solo não é um mero conjunto de fragmentos de rochas e resíduos orgânicos. Um punhado de solo pode ser o lar de *bilhões* de organismos, pertencentes a milhares de espécies. Mesmo em uma pequena quantidade de solo, é provável que existam predadores, presas, produtores, consumidores e parasitas (Figura 1.6).

Como é possível que tanta diversidade de organismos viva e interaja em um espaço tão pequeno? Uma explicação é a enorme variedade de nichos e *habitats* mesmo em um solo de aparência uniforme. Alguns poros do solo estão preenchidos com água na qual nadam organismos como nematoides, diatomáceas e rotíferos. Em outros poros maiores, cheios de ar úmido, minúsculos insetos e ácaros podem estar rastejando. Algumas microzonas bem-aeradas podem estar afastadas apenas poucos milímetros de locais com condições **anóxicas**. Diferentes pontos do solo podem estar enriquecidos com matéria orgânica em decomposição, enquanto alguns podem ser mais ácidos, e outros ainda, mais básicos. A temperatura, inclusive, pode variar bastante de um local para outro do solo.

Os solos abrigam uma boa parte da complexa diversidade genética da Terra. Assim como o ar e a água, eles são importantes componentes de um ecossistema muito mais vasto. No entanto, somente em épocas mais recentes a qualidade do solo vem se tornando tema importante nas discussões sobre a proteção ambiental, da mesma forma que a qualidade do ar e da água.

## 1.6 O SOLO COMO MEIO PARA OBRAS DE ENGENHARIA

Edifícios modernos e históricos feitos de solo:  
[www.eartharchitecture.org](http://www.eartharchitecture.org)

Provavelmente, o solo é o mais antigo e, certamente, um dos materiais de construção mais usados em edificações. Afinal, quase metade das pessoas no mundo vive em casas cuja matéria-prima usada para construção é a terra. As edificações feitas de materiais do solo variam das tradicionais casas de barro da África (Prancha 79) às modernas casas (para atender a propósitos ambientalistas) construídas com paredes de “terra batida” a partir de terra misturada com cimento e hidraulicamente compactadas (consulte o *link*, na nota da margem lateral).





**Figura 1.6** O solo é o lar de uma grande variedade de organismos, tanto os grandes como os muito pequenos. Na foto, uma centopeia (mostrada em tamanho real), um predador relativamente grande, está caçando sua próxima refeição que, provavelmente, é um dos muitos animais menores que se alimentam de restos de plantas mortas. (Foto: cortesia de R. Weil)

“*Terra firma*” (terra firme!). Isto é o que costumamos pensar: o solo como sendo a base firme e sólida sobre a qual é possível caminhar, construir estradas e todos os tipos de edificações. De fato, a maioria das construções se apoia no solo e necessita que ele seja escavado. Infelizmente, como pode ser visto na Figura 1.7, alguns solos são menos estáveis do que outros. Assim, para que edificações seguras sejam construídas sobre os solos (e com o material do solo) é necessário conhecer muito bem a sua diversidade – o que será discutido, mais adiante, neste capítulo. Os projetos elaborados para leitos de estradas ou fundações de edifícios podem ser adequados para certo local, com um determinado tipo de solo, mas podem não ser apropriados para outros, cujos solos têm outras características.

Trabalhar com solos naturais ou materiais escavados do solo não é como trabalhar com concreto ou aço. Propriedades como a capacidade de carga, a compressão, a resistência ao cisalhamento e a estabilidade são muito mais variáveis e difíceis de serem previstas para os solos do que para os materiais de construção industrializados. O Capítulo 4 apresenta uma introdução a algumas propriedades relacionadas ao solo como matéria-prima para obras de engenharia. Muitas outras propriedades físicas discutidas terão aplicação direta para esses usos. Por exemplo, o Capítulo 8 aborda a propriedade de expansão de certos tipos de argilas em solos. Assim, o engenheiro civil deve estar ciente de que, quando os solos com argilas expansíveis são



**Figura 1.7** Um conhecimento mais detalhado acerca dos solos em que esta estrada foi construída poderia permitir aos engenheiros a elaboração de um projeto que redundasse em uma obra mais estável, evitando, assim, essa situação não apenas dispendiosa, mas principalmente perigosa. (Foto: cortesia de R. Weil)

umedecidos, elas se expandem com força suficiente para quebrar fundações e pavimentações. Grande parte da informação sobre as propriedades e a classificação dos solos, que serão tratadas em capítulos posteriores, será de grande valia para os profissionais que precisam planejar o uso do solo como meio de construção ou escavação.

## 1.7 A PEDOSFERA COMO UMA INTERFACE AMBIENTAL

A importância do solo como um corpo natural deriva em grande parte de seu papel de **interface** entre as rochas (**litosfera**), o ar (**atmosfera**), a água (**hidrosfera**) e os seres vivos (**biosfera**). Os ambientes nos quais todos esses quatro elementos interagem são muitas vezes os mais complexos e produtivos da Terra. Um estuário, onde as águas pouco profundas estão lado a lado com a terra e o ar, é um exemplo desse tipo de ambiente. Sua produtividade e complexidade ecológica superam em muito, por exemplo, os de uma fossa profunda do oceano (onde a hidrosfera é bastante isolada), ou a da alta atmosfera (onde as rochas e a água têm pouca influência sobre ela). O solo, ou a **pedosfera**, pode ser visto como outro exemplo desse ambiente (Figura 1.8).

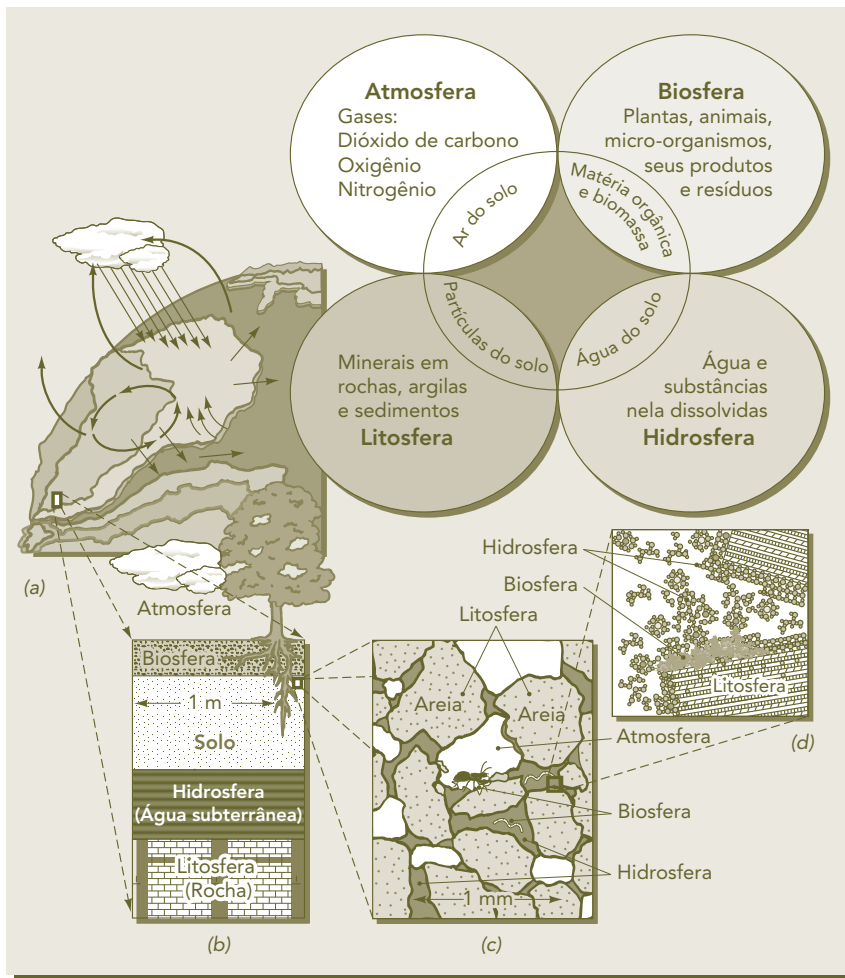
O conceito de solo como interface tem significados diferentes conforme a escala. Para a escala de quilômetros, o solo canaliza a água da chuva para os rios e transfere os elementos, antes contidos nos minerais das rochas, para os oceanos. Ele também remove e adiciona grandes quantidades de gases atmosféricos, que influenciam significativamente o balanço global do dióxido de carbono e do metano. Em uma escala de poucos metros (Figura 1.8b), o solo forma a zona de transição entre a rocha dura e o ar, armazenando a água em estado líquido e o gás oxigênio para serem usados pelas raízes das plantas. Ele transfere os elementos minerais das rochas da crosta terrestre para a sua vegetação, além de também processar ou armazenar os restos orgânicos de plantas e animais terrestres. Em uma escala de poucos milímetros (Figura 1.8c), o solo favorece a produção de diversos *micro-habitats* para micro-organismos que respiram no ar ou na água, conduzem água e outros nutrientes para as raízes das plantas e fornecem superfícies e condutos para soluções onde milhares de reações bioquímicas são processadas. Finalmente, na escala de alguns micrômetros, e até menor (menos de um milionésimo de metro), o solo fornece superfícies ordenadas e complexas, tanto minerais como orgânicas, que atuam como moldes para as reações químicas de interação da água com os seus solutos. Suas partículas minerais menores formam microzonas de cargas eletromagnéticas que atraem tudo, desde as paredes celulares de bactérias às proteínas e aos grupos de moléculas de água. À medida que for lendo este livro, você verá que as frequentes referências cruzadas, entre um capítulo e outro, irão lembrá-lo da importância das escalas e das interfaces com a história do solo.

## 1.8 O SOLO COMO UM CORPO NATURAL

Você pode notar que este livro, por vezes, refere-se ao “solo” como “o solo”; às vezes, como “um solo” e outras, como “solos”. Essas variações da palavra “solo” referem-se a dois conceitos distintos: *solo* como um material ou *solos* como corpos naturais. O *solo* pode ser entendido como um material composto de minerais, gases, água, substâncias orgânicas e micro-organismos. Algumas pessoas (normalmente *não* estudiosos do solo!) também se referem a esse material como terra, inclusive dando a ele a conotação de *sujeira*, especialmente quando é encontrado onde não é bem-vindo (por exemplo, em suas roupas ou debaixo das suas unhas).

*Um solo* é um corpo tridimensional natural – assim como uma montanha, um lago ou um vale. *O solo* é uma coleção de corpos de solos, individualmente diferentes, que cobrem a terra como a casca de uma laranja. No entanto, enquanto a casca é relativamente uniforme ao redor da laranja, o solo é altamente variável de um lugar para outro da Terra. Um desses corpos individuais (*um solo*) está para *o solo* assim como uma árvore isolada está para toda a vegetação da Terra. Desse modo, é possível

My friend, the soil;  
entrevista com Hans Jenny:  
[http://findarticles.com/p/articles/mi\\_m0GER/is\\_1999\\_Spring/ai\\_54321347](http://findarticles.com/p/articles/mi_m0GER/is_1999_Spring/ai_54321347)



**Figura 1.8** A pedosfera – interface dos mundos da rocha (litosfera), do ar (atmosfera), da água (hidrosfera) e da vida (biosfera) – pode ser interpretada com base em muitas escalas diferentes. Na escala de quilômetros (a), o solo faz parte dos ciclos globais e da vida dos ecossistemas terrestres. Na escala de metros (b), o solo forma uma zona de transição entre a rocha dura, abaixo, e a atmosfera, acima, através da qual uma zona de fluxos de águas superficiais e subterrâneas favorece o crescimento de plantas e de outros organismos vivos. Na escala de milímetros (c), as partículas minerais formam o esqueleto do solo que define seus espaços porosos – alguns preenchidos com ar e outros, com água – nos quais vivem pequenas criaturas. Finalmente, nas escalas micro e nanométrica (d), os minerais do solo (litosfera) apresentam cargas elétricas, superfícies reativas que adsorvem água e cátions dissolvidos em água (hidrosfera), gases (atmosfera), complexas macromoléculas de húmus e bactérias (biosfera). (Diagrama: cortesia de R. Weil)

encontrar carvalhos, abetos e muitas outras espécies de árvores em uma floresta em particular, assim como também se podem encontrar solos denominados “*Christiana franco-argilosa*”, “*Sunnyside areia-franca*”, “*Elkton franco-siltosa*”\* e outros tipos de solos em uma determinada paisagem\*\*.

Os *solos* são corpos naturais compostos de solo\*\*\* (o material que acabamos de descrever), *mais* raízes, animais, rochas, artefatos e muitos outros materiais. Se você mergulhar um balde em um lago, poderá amostrar um pouco de sua água. Da mesma maneira, escavando ou “trando” um buraco em um solo, você poderá retirar um pouco do *material do solo*. Dessa forma, você pode levar uma amostra de solo ou de água a um laboratório e analisar seu conteúdo, mas terá que ir ao campo para estudar um solo ou um lago.

Na maioria dos lugares, a rocha exposta na superfície da Terra se desintegrou e se alterou para produzir uma camada de detritos inconsolidados que cobrem a rocha dura, não meteorizada. Essa camada não consolidada é chamada de **regolito** e, em alguns lugares, varia de

\* N. de T.: *Christiana*, *Sunnyside* e *Elkton* referem-se a nomes de séries de solos identificadas nos Estados Unidos. As séries, na taxonomia pedológica, são consideradas como equivalentes à categoria de espécies, na taxonomia biológica; *franco-argilosa*, *areia-franca* e *franco-sitosa* referem-se ao nome da classe textural do horizonte superficial do solo (Figura 4.4).

\*\* N. de T.: Paisagem (*landscape*), neste livro, significa a extensão de território que se alcança em um lance de vista.

\*\*\* N. de T.: Aquilo a que os autores deste livro referem-se como solo (*a soil*), algumas vezes traduzimos como “material do solo” nesta obra.

praticamente nenhuma espessura (isto é, rocha exposta ou aflorando) a dezenas de metros de espessura. Em muitos casos, o material do regolito foi transportado por vários quilômetros do local da sua formação inicial e, então, depositado sobre o substrato rochoso que ele agora cobre. Assim, o todo, ou parte, do regolito pode ou não estar relacionado com a rocha hoje existente sob ele. Onde a rocha subjacente se intemperizou *in loco*, ao ponto de se tornar suficientemente solta para ser escavada com uma pá, o termo **saprolito** é usado (Prancha 11).

Por meio de seus efeitos físicos e bioquímicos, os organismos vivos, como as bactérias, os fungos e as raízes das plantas, alteraram a parte superior do regolito e, em muitos casos, toda a sua espessura. É aí, na interface entre os mundos da rocha, do ar, da água e dos seres vivos, que o solo se forma. A transformação das rochas e detritos inorgânicos em um solo vivo é um dos mais fascinantes fenômenos que a natureza nos apresenta. O regolito e o solo, embora geralmente fora do nosso campo de visão, podem ser vistos com frequência em cortes de estradas e outras escavações.

Um solo é o resultado de processos sintetizadores tanto construtivos como destrutivos. O intemperismo das rochas e a decomposição de resíduos orgânicos são exemplos de processos destrutivos, enquanto a formação de novos minerais, como argilas e novos compostos orgânicos estáveis, são exemplos de síntese. Talvez o resultado mais impressionante dos processos de síntese seja a formação de camadas contrastantes chamadas de **horizontes do solo**. O desenvolvimento desses horizontes na parte superior do regolito é uma característica única do solo, que o diferencia da sua porção mais inferior (Figura 1.9).

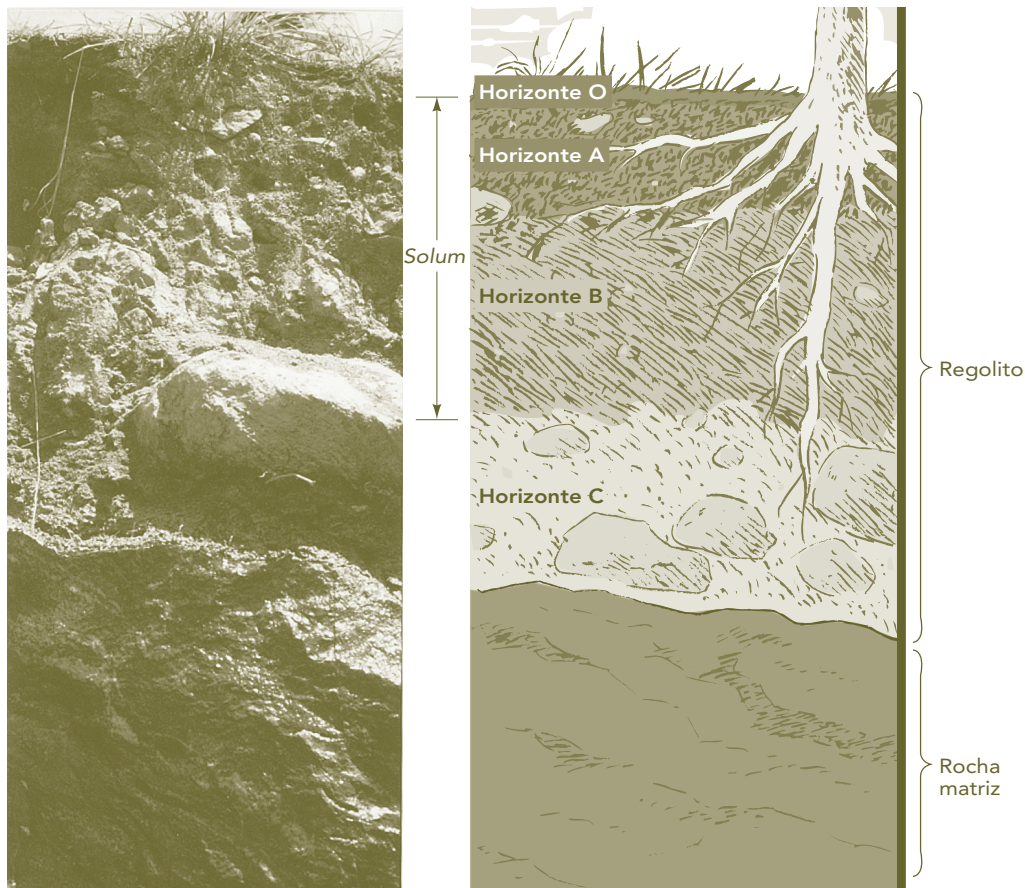
Os pesquisadores especializados em **pedologia** (*pedólogos*) estudam os solos como corpos naturais, considerando as propriedades dos seus horizontes e as relações entre os vários solos existentes em uma determinada paisagem. Outros estudiosos do solo, por vezes chamados de **edafólogos**, encaram o solo como o *habitat* para seres vivos, especialmente as plantas. Para ambos os tipos de estudo é essencial analisar os solos em todas as escalas e em suas três dimensões (especialmente a dimensão vertical).

## 1.9 O PERFIL DO SOLO E SUAS CAMADAS (HORIZONTES)

Coloque no Google "perfil do solo" e depois clique em "Resultados de Imagem".

Os pedólogos costumam cavar um grande buraco, chamado de *trincheira*, geralmente até vários metros de profundidade e de cerca de um metro de largura, a fim de expor os horizontes do solo para estudo. A seção vertical, que expõe um conjunto de horizontes no talude de tal trincheira, é chamada de **perfil do solo**. Cortes de estradas e outras escavações já efetuadas podem expor os perfis de solo e servem como "janelas" para vermos a dimensão vertical do solo. Em uma escavação deixada aberta por algum tempo, os horizontes são muitas vezes obscurecidos pelo material do solo de horizontes superiores que foi transportado para baixo, cobrindo os horizontes inferiores do perfil que estava exposto. Por essa razão, os horizontes podem ser visualizados mais nitidamente se alguns centímetros desses cortes de estrada forem raspados, para melhor exposição dos horizontes do solo. A observação de como os solos variam de um lugar para o outro, quando expostos em cortes de estrada, pode adicionar novos e fascinantes aspectos a uma viagem. Depois de ter aprendido a interpretar os diferentes horizontes (Capítulo 2), os perfis de solo podem orientá-lo sobre possíveis problemas quanto ao uso da terra, bem como lhe mostrar muita coisa sobre o ambiente e o histórico pedológico de uma região. Por exemplo, os solos desenvolvidos em uma região de clima árido terão horizontes muito diferentes daqueles desenvolvidos em uma região úmida.

Os horizontes que constituem um solo podem variar em espessura e ter limites um tanto irregulares, mas geralmente são paralelos à superfície do terreno. Esse alinhamento é esperado porque a diferenciação do regolito em horizontes bem definidos é em grande parte o resultado



**Figura 1.9** Posições relativas do regolito, seu solo e sua rocha matriz subjacente. Note que o solo é uma parte do regolito e que os horizontes A e B fazem parte do *solum* (do latim, “solo” ou “terra”). O horizonte C é a parte do regolito subjacente ao *solum*, mas sua parte superior pode estar sendo lentamente transformada em solo. Às vezes, o regolito é tão delgado que todo ele pode ter sido transformado em solo; neste caso, o solo permanece diretamente assentado sobre a rocha. (Foto: cortesia de R. Weil)

de interferências da interface solo-atmosfera, como a da água, do ar, da radiação solar e do material vegetal. Uma vez que o intemperismo do regolito ocorre primeiro na superfície e opera de cima para baixo, suas camadas superiores são mais diferentes, enquanto as mais profundas são mais semelhantes ao regolito original, também chamado de **material de origem do solo**. Em lugares onde o regolito foi originalmente bastante uniforme em composição, o material abaixo do solo pode ter uma composição semelhante ao material do qual o solo se originou. Em outros casos, o material de origem foi um regolito transportado a longas distâncias pelo vento, pela água ou pelas geleiras e depositado sobre um material diferente. Nesse caso, o material do regolito que se encontra abaixo de um solo pode ser bem diferente daquele em que a camada superior do solo se formou.

Em ecossistemas intactos, especialmente florestas, os materiais orgânicos formados a partir de folhas caídas e outros restos de plantas e animais tendem a se acumular na superfície. Nessas condições, eles estão em diferentes estágios de decomposição e transformações físicas e bioquímicas, de modo que as camadas mais antigas de materiais parcialmente decompostos se situam sob os restos recém-adicionados. O conjunto dessas camadas orgânicas encontradas na superfície do solo é designado como **horizontes O**.

Os animais do solo e a água que nele se infiltra deslocam alguns desses materiais orgânicos para baixo para se misturarem às partículas minerais do regolito. Estes, por sua vez, juntam-se à decomposição de restos de raízes de plantas para formarem materiais orgânicos que escurecerem a camada mineral mais superior. Além disso, uma vez que o intemperismo tende a ser mais intenso perto da superfície, em muitos solos as camadas mais superiores perdem, por lixiviação, para os horizontes situados mais abaixo, parte de sua argila ou de outros produtos de intemperismo. Dessa forma, os **horizontes A** são as camadas mais próximas da superfície onde dominam partículas minerais que foram escurecidas devido ao acúmulo de matéria orgânica.

Um horizonte mais superficial e enriquecido com matéria orgânica é, por vezes, chamado de **solo superficial**. Os horizontes mais superficiais, de 12 a 25 cm de espessura, quando são arados e cultivados, se modificam para formar uma **camada arável**. Em muitos solos, a maior parte das raízes mais finas que alimentam as plantas é encontrada na camada mais superficial ou camada arável do solo. Às vezes, alguns comerciantes removem a camada arável de um determinado local e a vendem ou empilham esse solo para posterior utilização no plantio de gramados ou arbustos ao redor de edifícios recém-construídos (Prancha 44).

Alguns solos que são muito intemperizados e lixiviados possuem, geralmente logo abaixo do A, outro horizonte que não tem acúmulo de matéria orgânica – designado como **horizonte E** (Figura 1.10).

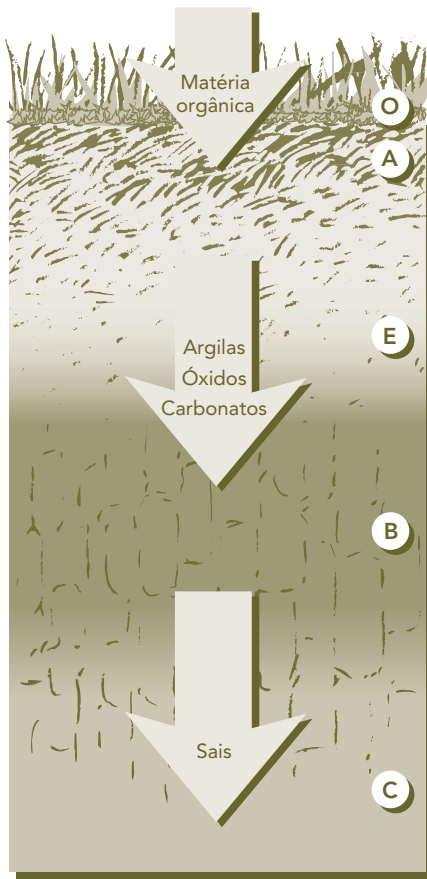
As camadas subjacentes aos horizontes A e O contêm relativamente menos materiais orgânicos do que os horizontes mais próximos da superfície. Quantidades variáveis de argilas silicatadas, óxidos de ferro e de alumínio e gesso (ou carbonato de cálcio), podem se acumular nesses horizontes subsuperficiais. Esses materiais que se acumulam podem ter sido levados para baixo dos horizontes que os sobrepõem, ou podem ter sido formados *in situ* por meio dos processos de intemperismo. Essas camadas subjacentes (por vezes referidas como *subsolo*) são os **horizontes B** (Figura 1.10).

Muitas vezes, as raízes das plantas e os micro-organismos se estendem até abaixo do horizonte B, especialmente em regiões úmidas, causando mudanças químicas na água do solo, algum intemperismo bioquímico do regolito e a formação do **horizonte C**, que é a parte do perfil do solo menos intemperizada.

Em alguns perfis de solo, os horizontes que os compõem são muito diferentes em relação à cor e têm transições nítidas que podem ser vistas facilmente até mesmo por observadores inexperientes. Em outros solos, as mudanças de cor entre os horizontes podem ser muito graduais, e os seus limites, mais difíceis de serem identificados. A delimitação dos horizontes presentes em um perfil do solo, muitas vezes, requer um exame cuidadoso, utilizando-se todos os nossos sentidos. O pedólogo, além de ver as cores de um perfil, pode tatear, cheirar e ouvir o solo (como exemplificado no Quadro 4.1), bem como realizar testes químicos para distinguir os horizontes aí presentes. No Quadro 1.2 há um relato salientando a importância dos vários horizontes do solo.

## 1.10 O SOLO: UMA INTERFACE DE AR, MINERAIS, ÁGUA E VIDA

Já mencionamos que o regolito encontra a atmosfera e os mundos do ar, da rocha, da água e dos seres vivos com os quais está interligado. É por isso que os quatro principais componentes do solo são: o ar, a água, os minerais e a matéria orgânica. As proporções relativas desses quatro componentes influenciam muito o comportamento e a produtividade dos solos. Em um solo, esses quatro componentes estão misturados em complexos padrões; no entanto, a proporção de volume de solo ocupado com cada componente pode ser representada em um gráfico de pizza simples. A Figura 1.12 mostra as proporções aproximadas (em volume) dos



**Figura 1.10** Os horizontes começam a se diferenciar à medida que os materiais são adicionados à parte superior do perfil e outros materiais são translocados para zonas mais profundas. Sob certas condições, normalmente associadas com vegetação de floresta e alta pluviosidade, há a formação de um horizonte E lixiviado, entre o A rico em matéria orgânica e o B. Se ocorrer chuva suficiente, sais solúveis serão carregados para a porção inferior do perfil do solo, por vezes até as águas subterrâneas. Em muitos solos faltam um ou mais dos cinco horizontes aqui ilustrados.

componentes encontrados em um horizonte superficial de um solo de textura franca, em boas condições para o crescimento da planta. À primeira vista, apesar de um punhado de terra poder parecer algo sólido, é necessário considerar que apenas cerca de metade do seu volume é composta de resíduos sólidos (minerais e orgânicos); a outra metade é constituída por poros preenchidos com ar ou água. Geralmente, a maior parte do material sólido é constituída de matéria mineral derivada das rochas da crosta terrestre. Apenas cerca de 5% do *volume* desse solo ideal consiste de matéria orgânica. No entanto, a influência desse componente orgânico nas propriedades do solo é geralmente muito maior do que sua pequena proporção poderia sugerir. Uma vez que a matéria orgânica é muito menos densa do que a mineral, a primeira contribui apenas com 2% do *peso* do solo.

Os espaços entre as partículas de material sólido são tão importantes para um solo quanto os próprios sólidos. É nesses poros que o ar e a água circulam, as raízes crescem e os seres microscópicos vivem. Afinal, as raízes das plantas precisam de ar e água. Para uma condição de ótimo crescimento para a maioria das plantas, o espaço poroso será igualmente dividido entre os dois, com 25% do volume de solo constituído de água e os restantes 25%, de ar. Se houver muito mais água do que isso, o solo ficará encharcado. Se muito menos água estiver presente, as plantas vão sofrer com a seca. As proporções relativas de água e ar de um solo, caracteristicamente, variam muito à medida que a água é adicionada ou retirada. Solos com muito mais do que 50% do seu volume constituído de sólidos são propensos a serem muito compactados, afetando o bom desenvolvimento das plantas. Em comparação com as camadas mais superficiais do solo, as mais profundas tendem a conter menos espaço poroso total e matéria orgânica e também uma maior proporção de poros pequenos (*microporos*), que podem ser preenchidos com água, em vez de ar.

## QUADRO 1.2

## Usando informações do perfil do solo como um todo

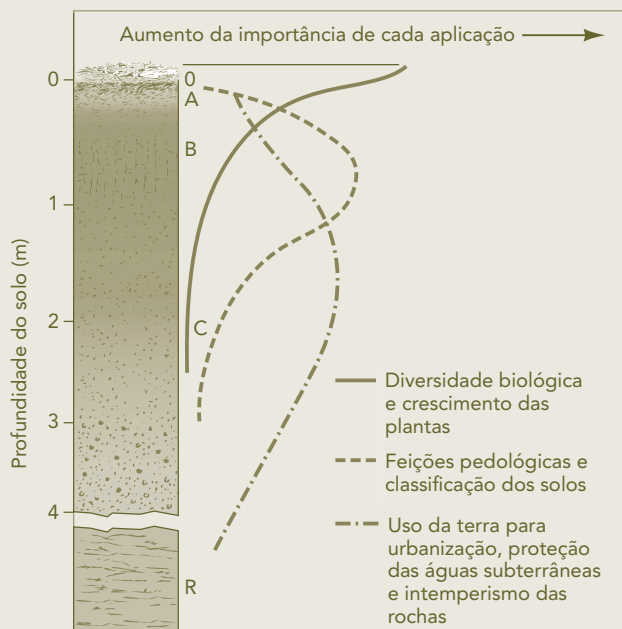


Os solos são corpos tridimensionais, e todas as partes de seus perfis participam de importantes processos dos ecossistemas. Dependendo do tipo de estudo aplicado a finalidades práticas, a informação necessária para tomar decisões sobre o manejo adequado da terra deve se basear nas camadas (horizontes) do solo: tanto a mais superficial (por vezes tão delgada quanto o primeiro ou o segundo centímetro mais superficial), como a mais profunda (por vezes tão espessa como todo o saprolito) (Figura 1.11).

Por exemplo, os primeiros centímetros da parte mais superior do solo muitas vezes detêm as chaves para o entendimento sobre o crescimento das plantas e a diversidade biológica, bem como certos processos hidrológicos. Na interface solo-atmosfera, os seres vivos são mais numerosos e diversificados. Grande parte das árvores de florestas dependem desta delgada zona para a absorção de nutrientes pelo denso manto de raízes finas que aí crescem. As condições físicas dessa fina camada superficial pode também determinar se a chuva vai se infiltrar ou escoar sobre a superfície de uma encosta. Determinados poluentes, como o chumbo dos gases dos escapamentos de veículos de uma estrada, também estão concentrados nessa zona. Para muitos tipos de investigações sobre o solo, será necessário amostrar estes poucos centímetros da porção superior à parte, de forma que importantes condições não sejam negligenciadas.

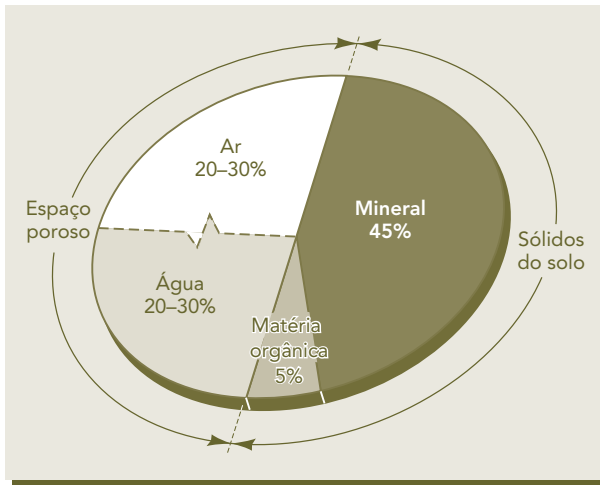
Por outro lado, é igualmente importante não limitar a nossa atenção para a porção mais superficial e de mais fácil acesso do solo, já que muitas das suas propriedades só podem ser identificadas nas camadas mais profundas. Os problemas referentes ao crescimento das plantas estão muitas vezes relacionados com as condições inóspitas que restringem a penetração de raízes nos horizontes B ou C. Da mesma forma, o grande volume dessas camadas mais profundas pode controlar a quantidade de água disponível no solo para as plantas. Para efeito da identificação ou mapeamento de diferentes tipos de solos, as propriedades dos horizontes B são muitas vezes fundamentais. Esta não é somente a zona de importantes acúmulos de argilas, mas as camadas mais próximas da superfície do solo também são mais suscetíveis de rápidas alterações pelo manejo da terra e pela erosão do solo; por isso não costumam ser consideradas como uma fonte confiável de informações para a classificação dos solos.

Nos regolitos profundamente intemperizados, os horizontes C mais inferiores e o saprolito desempenham papéis importantes. Essas camadas, geralmente em profundidades abaixo de 1 ou 2 m (e muitas vezes atingindo profundidades de 5 a 10 m), afetam grandemente a aptidão dos solos para a maioria dos usos urbanos nos quais são necessárias construções ou escavações. O bom funcionamento de sistemas de tratamento de esgoto no local (tanques sépticos) e a estabilidade das fundações de edificações são muitas vezes determinados pelas propriedades do regolito presente nessas profundidades. Da mesma forma, os processos que controlam o movimento de poluentes para as águas subterrâneas ou o desgaste de materiais geológicos podem ocorrer em profundidades de muitos metros. Essas camadas profundas também têm grandes influências ecológicas porque, embora a intensidade da atividade biológica de plantas e raízes possa ser bastante baixa, o impacto total pode ser grande, como resultado do enorme volume de solo que pode estar envolvido. Isso é especialmente verdadeiro para sistemas florestais em climas quentes.



**Figura 1.11** Informações importantes em relação às diferentes funções e aplicações de solos podem ser obtidas ao estudarmos as diferentes camadas do perfil do solo. (Diagrama: cortesia de R. Weil)





**Figura 1.12** Composição, em volume, do horizonte mais superficial de textura franca, quando apresenta boas condições para o crescimento das plantas. A linha tracejada entre a água e o ar indica que as proporções desses dois componentes variam à medida que o solo se torna mais úmido ou seco. No entanto, uma proporção quase igual de ar e água é geralmente ideal para o crescimento das plantas.

## 1.11 OS COMPONENTES MINERAIS (INORGÂNICOS) DO SOLO

Com exceção dos solos orgânicos, a maior parte do arcabouço sólido do solo é composta de partículas **minerais**. As maiores partículas do solo – pedras (ou calhaus), cascalhos e areias grossas – são, geralmente, fragmentos de rocha formados por vários minerais diferentes. Partículas menores costumam ser constituídas de um único mineral.

Excluindo, por enquanto, os maiores fragmentos de rocha, como pedras e cascalhos, as partículas do solo variam em tamanho ao longo de quatro ordens de grandeza: de 2,0 mm até menos do que 0,0002 mm de diâmetro. As partículas de **areia** são suficientemente grandes (2,0 a 0,05 mm) para serem vistas a olho nu e sentidas ao tato quando friccionadas entre os dedos; elas não aderem umas às outras e, portanto, não produzem a sensação de pegajosidade. As partículas de **silte** (0,05 a 0,002 mm) são muito pequenas para serem vistas sem um microscópio ou sentidas individualmente, de modo que o silte é macio, mas não é pegajoso, mesmo quando molhado. As **argilas** são as menores partículas minerais (<0,002 mm) e aderem umas às outras, formando uma massa pegajosa quando molhada e torrões duros quando secas. As menores partículas de argila (<0,001 mm) (e partículas orgânicas de tamanho similar) têm propriedades **coloidais** e podem ser vistas apenas com o auxílio de um microscópio eletrônico. Por causa de seu tamanho extremamente pequeno, as partículas coloidais possuem uma grande quantidade de área superficial por unidade de massa. Uma vez que a superfície dos colóides do solo (tanto os minerais como os orgânicos) apresenta cargas eletromagnéticas que atraem íons positivos e negativos, bem como água, esta fração do solo é a sede da maior parte das suas atividades físico-químicas (Capítulo 8).

Microfotografias eletrônicas e outras imagens de partículas de argila: [www.minersoc.org/pages/gallery/claypix/index.html](http://www.minersoc.org/pages/gallery/claypix/index.html)

### Textura do solo

A proporção de partículas, de acordo com esses limites de diferentes tamanhos, é descrita como **textura do solo**. Termos como *arenosa*, *argila-siltosa*, *argilosa* e *franca* são usados para identificar a textura do solo – a qual tem uma profunda influência sobre diversas propriedades do solo e afeta a aptidão de um solo em relação à maioria de seus usos. Para entender o quanto a textura interfere nas propriedades do solo, imagine primeiro tomar um banho de sol em uma praia arenosa (com areia solta) e, em seguida, em uma praia argilosa (com lama pegajosa).

Para prever o efeito da argila no comportamento de um solo, é necessário conhecer os *tipos* de argilas, bem como a *quantidade* presente. Como os responsáveis pela construção de casas e pelo traçado das rodovias sabem muito bem, os solos contendo determinadas **argilas**

**de alta atividade** fazem com que qualquer de seus materiais, com o qual vão trabalhar, seja instável – uma vez que eles expandem quando molhados e contraem quando secos. Essa expansão e contração podem facilmente rachar fundações e causar o colapso das fundações que sustentam as paredes. Essas argilas também podem se tornar extremamente pegajosas e difíceis de se trabalhar quando estão molhadas. Em contraste, as **argilas de baixa atividade**, formadas em diferentes condições, podem ser muito estáveis e fáceis de serem trabalhadas. Aprender sobre os diferentes tipos de minerais das argilas nos ajudará a entender as muitas diferenças físicas e químicas existentes entre os solos das várias partes do mundo (Quadro 1.3).

## Estrutura do solo

Partículas de areia, silte e argila podem ser imaginadas como os blocos de construção a partir dos quais o solo é montado. A maneira como esses blocos estão posicionados é chamada de **estrutura do solo**. As partículas individuais podem permanecer relativamente independentes umas das outras, mas mais comumente se organizam em agregados de diferentes tamanhos de partículas, os quais podem assumir a forma de grânulos arredondados, blocos, placas planas ou outras formas. A estrutura do solo (ou a forma como as partículas são organizadas em conjunto) é tão importante quanto a sua textura (quantidades relativas de diferentes tamanhos de partículas) em relação ao movimento da água e do ar nos solos. Tanto a estrutura como a textura influenciam, significativamente, muitos processos que ocorrem no solo, incluindo o crescimento das raízes das plantas.

## 1.12 A MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

A matéria orgânica do solo consiste em uma grande variedade de substâncias orgânicas (ou carbonáceas), incluindo os organismos vivos (ou **biomassa** do solo), restos de organismos que em algum momento ocuparam o solo e compostos orgânicos produzidos pelo metabolismo atual e passado ocorrido no solo. Os restos de plantas, animais e micro-organismos são continuamente decompostos no solo e novas substâncias são sintetizadas por outros micro-organismos. Ao longo do tempo, a matéria orgânica é removida do solo na forma de  $\text{CO}_2$  produzido pela respiração dos micro-organismos. Por causa de tal perda, repetidas adições de resíduos de novas plantas e/ou de origem animal são necessárias para manter a matéria orgânica do solo.

Sob condições que favorecem mais a produção das plantas do que a sua decomposição microbiana, grandes quantidades de dióxido de carbono atmosférico utilizado pelas plantas na fotossíntese são sequestrados nos abundantes tecidos das plantas que, com o tempo, tornam-se parte da matéria orgânica do solo. Uma vez que o dióxido de carbono é uma das principais causas do efeito estufa, que está aquecendo o clima da Terra, o equilíbrio entre o acúmulo de matéria orgânica do solo e sua perda por meio da respiração microbiana tem implicações globais. Na verdade, mais carbono é armazenado nos solos do mundo do que o combinado em toda a biomassa de plantas e a atmosfera.

Mesmo assim, a matéria orgânica é constituída por apenas uma pequena parte da massa de um solo característico. Em peso, a camada superficial dos solos bem drenados comumente contém de 1 a 6% de matéria orgânica. O conteúdo de matéria orgânica dos horizontes subsuperficiais é ainda menor. No entanto, a influência da matéria orgânica nas propriedades do solo e, conseqüentemente, no crescimento das plantas, é muito maior do que esse baixo percentual indicaria (ver também o Capítulo 11).

A matéria orgânica une as partículas minerais em uma estrutura com agregados granulares que é a grande responsável pela consistência solta e de fácil manejo em solos produtivos. Parte da matéria orgânica do solo, que é especialmente eficaz na estabilização desses agregados, consiste em certas substâncias aglutinantes, produzidas por vários organismos do solo, incluindo as raízes das plantas (Figura 1.15).

## QUADRO 1.3

## Observando os solos na vida diária



Os seus estudos sobre o solo podem ser aperfeiçoados se você prestar atenção aos vários contatos diários com muitos solos, cujas influências passam despercebidas pela maioria das pessoas. Quando você cavar um buraco para plantar uma árvore ou construir uma cerca, observe as diferentes camadas de solo encontradas e o aspecto de cada uma delas. Se você passar por um canteiro de obras, terá a chance de observar os horizontes expostos pelas escavações. Uma viagem de avião é uma ótima oportunidade para observar como a paisagem dos solos varia entre as zonas climáticas. Se você estiver voando durante o dia, escolha um assento à janela. Procure identificar a forma externa de cada solo nos campos arados, considerando se você está viajando na primavera ou no outono (Figura 1.13).

Solos podem lhe dar pistas para compreender como funcionam os fenômenos naturais que ocorrem ao seu redor. Se estiver passeando ao longo de um riacho, preste atenção no seu fundo ou nos bancos arenosos e use uma lupa de bolso para examinar a areia neles depositada. Ela pode conter minerais não encontrados em rochas e solos locais, mas que se originaram de muitos quilômetros rio acima. Quando lavar o seu carro, veja se a lama dos pneus e do para-lama tem cor e consistência diferentes das dos solos existentes perto de sua casa. Será que a "sujeria" do seu carro pode lhe dizer por onde você andou dirigindo? Investigadores forenses têm sido orientados pelos pedólogos em seu trabalho de localizar vítimas de crimes ou na identificação de um criminoso por meio

de análises do solo encontrado em sapatos, pneus ou ferramentas usadas no local do delito.

Outras pistas da presença de certos tipos de solos podem ser encontradas ainda mais perto de sua residência. A próxima vez que você trazer para casa aipo ou alface do supermercado, olhe com cuidado para os restos de solo grudados nas raízes do caule ou nas folhas (Figura 1.14). Esfregue este solo entre o polegar e o indicador. Uma terra lisa e muito escura pode indicar que a alface foi cultivada em solo orgânico, como os existentes no Estado de Nova York ou no sul da Flórida (EUA). Um solo marrom, que produz uma sensação suave e apenas ligeiramente áspera, é mais característico da região produtora da Califórnia, enquanto uma cor clara e de sensação de areia grossa é comum em produtos originários das regiões produtoras de hortaliças do sul da Geórgia ou do norte da Flórida. Em um saco de feijão, você pode se deparar com alguns pedaços de terra que, por serem do mesmo tamanho do feijão, permaneceram após o processo de limpeza. Muitas vezes, esse solo é de cor escura e textura muito pegajosa, proveniente da área central do Estado de Michigan, onde uma grande parte do feijão dos Estados Unidos é cultivada.

Considere que você tem boas oportunidades para observar o solo tanto sob escalas maiores, com sensores remotos, até as menores e microscópicas. À medida que aprender mais sobre o solo, você irá, sem dúvida, ser capaz de perceber mais exemplos de como ele está presente em várias situações de sua vida.



**Figura 1.13** Os corpos de solo com cores claras e escuras podem ser vistos a partir de um avião, sobrevoando a região central do Texas (EUA), e refletem as diferenças na drenagem e no relevo da paisagem.

(Foto: cortesia de R. Weil)



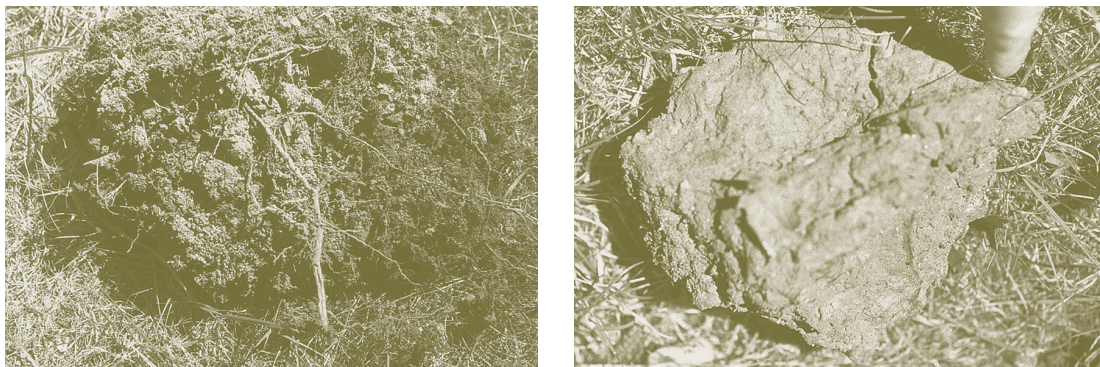
**Figura 1.14** O solo escuro e lamacento, grudado na base deste talo de aipo indica que ele foi cultivado em solos orgânicos, provavelmente do Estado de Nova York (EUA). (Foto: cortesia de R. Weil)

A matéria orgânica também aumenta a quantidade de água que um solo pode reter, bem como a proporção de água disponível para o crescimento das plantas (Figura 1.16). Além disso, a matéria orgânica é uma importante fonte dos nutrientes fósforo e enxofre, além de ser a principal fonte de nitrogênio para a maioria dos vegetais. À medida que a matéria orgânica do solo se decompõe, esses elementos nutrientes, que estão presentes em compostos orgânicos, são liberados como íons solúveis que podem ser absorvidos pelas raízes das plantas. Finalmente, a matéria orgânica, incluindo os resíduos de plantas e animais, é o principal alimento para abastecer de carbono e energia os organismos do solo. Sem ela a atividade bioquímica, tão essencial para o funcionamento do ecossistema, quase se estagnaria.

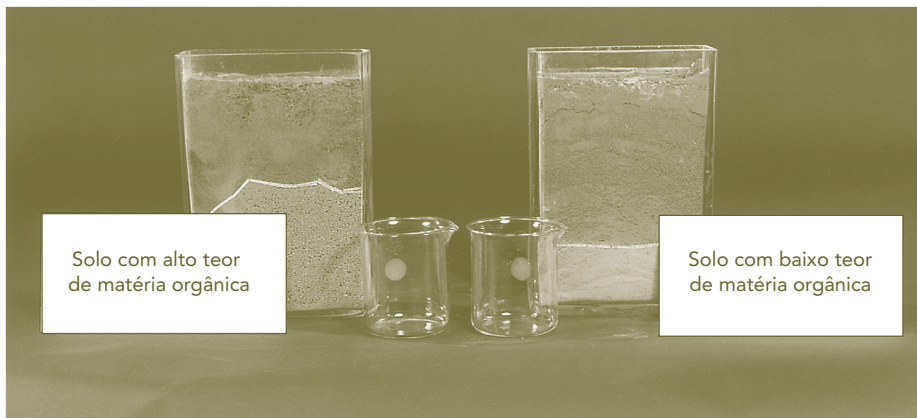
O **húmus**, geralmente de cor preta ou marrom, é um conjunto de compostos orgânicos complexos que se acumulam no solo porque são relativamente resistentes à decomposição. Da mesma forma que a argila, ele é uma fração coloidal da matéria mineral do solo. Por causa de suas superfícies com cargas elétricas, tanto o húmus como a argila atuam como ligantes entre as partículas maiores do solo e, por isso, ambos têm um papel importante na formação da sua estrutura. As cargas na superfície do húmus, como as da argila, atraem e mantêm tanto os íons de nutrientes como as moléculas de água. No entanto, grama por grama, a capacidade do húmus em reter nutrientes e água é muito maior do que a da argila. Além disso, uma pequena quantidade de húmus pode aumentar extremamente a capacidade do solo de promover o crescimento das plantas.

### 1.13 A ÁGUA DO SOLO: UMA SOLUÇÃO DINÂMICA

A água é de vital importância para o funcionamento ecológico dos solos. A presença de água é essencial para a sobrevivência e o crescimento de plantas e de outros organismos do solo. Por ser, muitas vezes, um reflexo de fatores climáticos, o regime de umidade do solo é um dos principais condicionantes da produtividade dos ecossistemas terrestres, incluindo os sistemas agrícolas. O movimento da água e das substâncias nela dissolvidas através do perfil do solo é de grande importância para a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos locais e regionais. A água que se move através do regolito é também uma importante força motriz para a formação do solo.



**Figura 1.15** À esquerda: a matéria orgânica abundante, incluindo a das raízes das plantas, ajuda a criar condições físicas favoráveis para o crescimento das plantas superiores, bem como o dos micróbios. À direita: em contraste, solos pobres em matéria orgânica, especialmente se ricos em silte e argila, são muitas vezes compactos e não adequados para um ótimo crescimento das plantas. (Fotos: cortesia de N. C. Brady)



**Figura 1.16** Solos com conteúdo mais elevado de matéria orgânica têm maior capacidade de retenção de água do que os com pouca matéria orgânica. Em ambos os recipientes, o solo tem a mesma textura, mas o da direita tem menos matéria orgânica. A mesma quantidade de água foi adicionada em cada recipiente. A profundidade de penetração da água foi menor no solo com maior concentração de material orgânico (à esquerda), devido à sua maior capacidade de retenção de água. Foi necessária uma maior quantidade de material de solo com pouca matéria orgânica para que a mesma quantidade de água pudesse ser mantida. (Foto: cortesia de N. C. Brady)

A água é retida dentro dos poros do solo com diferentes graus de tenacidade, dependendo da sua quantidade presente e do tamanho dos poros. A atração entre a água e a superfície das partículas do solo limita fortemente a capacidade de a água fluir.

Quando o teor de umidade do solo é ideal para o crescimento da planta (Figura 1.12), a água pode se mover no solo por intermédio dos poros de grande e médio porte e assim ser facilmente utilizada pelas plantas. No entanto, quando uma planta cresce, suas raízes removem primeiro a água dos poros maiores. Quando isso acontece, esses poros detêm apenas ar, e a água remanescente permanece apenas nos poros de tamanho intermediário ou menor. Nesses poros menores, ela permanece tão fortemente retida nas superfícies de partículas que as raízes das plantas não podem retirá-la. Consequentemente, nem toda a água do solo ficará *disponível* às plantas.

## Solução do solo

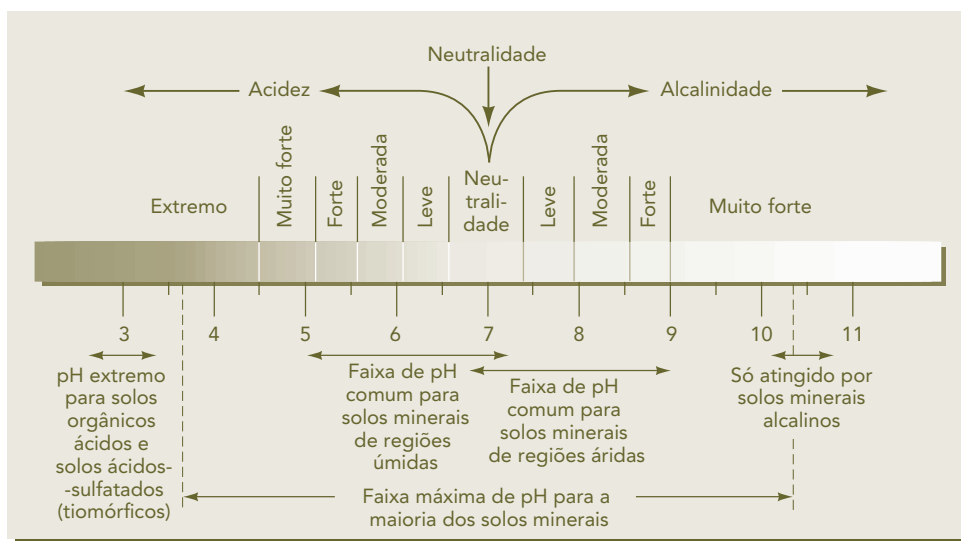
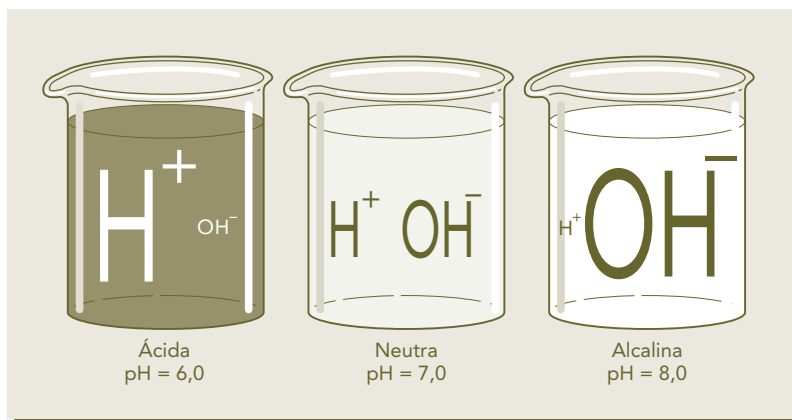
Uma vez que a água do solo não se encontra em estado puro, porque contém centenas de substâncias inorgânicas e orgânicas nela dissolvidas, ela deve ser mais precisamente chamada de **solução do solo**. Os sólidos do solo, principalmente as diminutas partículas coloidais orgânicas e inorgânicas (argila e húmus), liberam elementos nutrientes para a solução do solo, a partir da qual eles são absorvidos pelas raízes das plantas. Essa solução tende a resistir a alterações na sua composição, mesmo quando alguns compostos são adicionados ou removidos do solo. Essa capacidade de resistir à mudança é denominada **capacidade tampão** do solo e depende quimicamente de muitas reações biológicas, incluindo a atração e a liberação de substâncias por partículas coloidais (Capítulo 8).

Muitas reações químicas e biológicas dependem dos níveis relativos de íons de hidrogênio ( $H^+$ ) e hidroxila ( $OH^-$ ) na solução do solo, que são comumente determinados medindo-se o **pH** do solo. O pH é uma escala logarítmica usada para expressar o grau de acidez ou alcalinidade do solo (Figuras 1.17 e 1.18). Ele é considerado uma variável-chave em química do solo e é de grande importância para quase todos os aspectos da ciência do solo.

### 1.14 O AR DO SOLO: UMA MISTURA VARIÁVEL DE GASES

Aproximadamente metade do volume do solo é composto por poros de tamanhos variados (Figura 1.12), que são preenchidos com água ou ar. Quando a água penetra no solo, ela desloca o ar de alguns dos poros; portanto, o teor de ar de um solo é inversamente proporcional ao seu conteúdo de água. Se pensarmos na rede de poros do solo como sendo o seu sistema de ventilação, conectando seus espaços vazios com a atmosfera, podemos entender que, quando os poros são preenchidos com a água em excesso, esse sistema de ventilação fica obstruído. Pense em como o ar se tornaria abafado se os dutos de ventilação de uma sala de aula ficassem entupidos. Já que o oxigênio não poderia entrar na sala, nem o dióxido de carbono sair, o ar dentro dessa sala logo se tornaria pobre em oxigênio e enriquecido em dióxido de carbono e vapor d'água, devido à respiração (inalação e exalação) das pessoas aí presentes. Um efeito similar acontece em um poro do solo preenchido com ar, rodeado

**Figura 1.17** Diagrama representativo da acidez, neutralidade e alcalinidade. Na neutralidade (pH 7), uma solução tem seus íons  $H^+$  e  $OH^-$  equilibrados, e seus respectivos números são os mesmos. A pH 6, a quantidade de íons  $H^+$  é 10 vezes maior, enquanto os íons  $OH^-$  correspondem a apenas um décimo do inicial; portanto, a solução é ácida, havendo 100 vezes mais íons  $H^+$  presentes do que íons  $OH^-$ . Em condições de pH 8, o inverso é verdadeiro: os íons  $OH^-$  são 100 vezes mais numerosos do que os íons  $H^+$ . Por isso, uma solução com pH 8 é alcalina.



**Figura 1.18** Faixa extrema de pH para a maioria dos solos minerais e faixas comumente encontradas em solos de regiões úmidas e áridas. São também indicados a alcalinidade máxima para solos alcalinos e o pH mínimo para solos orgânicos muito ácidos.

de poros menores cheios de água, onde são intensas as atividades metabólicas das raízes, plantas e micro-organismos.

A composição do ar do solo varia muito de um local para outro. Em compartimentos pequenos e isolados, alguns gases são consumidos pelas raízes das plantas ou pelas reações microbianas, enquanto outros são liberados, modificando de forma significativa a composição do ar do solo. Geralmente, esse ar tem um maior teor de umidade do que o da atmosfera; a umidade relativa do ar do solo se mantém perto de 100%, a menos que ele esteja muito seco. O conteúdo de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é geralmente muito mais elevado do que o de oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e um pouco menor do que o teor desses gases quando estão na atmosfera.

O teor e a composição do ar do solo são determinados, em grande parte, pelo seu teor de água, uma vez que o ar é encontrado naqueles poros não ocupados pelo líquido. À medida que o solo vai sendo drenado, depois de ter sido molhado com uma forte chuva (ou um trabalho de irrigação), e que a água vai sendo removida pela evaporação ou transpiração das plantas, os poros primeiro abandonados pela água são os grandes, seguidos daqueles de tamanho médio e, finalmente, pelos menores. Isso explica a tendência de os solos com uma elevada proporção de poros muito pequenos possuírem aeração deficiente. Em casos extremos, a falta de oxigênio, tanto no ar do solo como no ar dissolvido na sua água, pode alterar fundamentalmente as reações químicas que ocorrem na solução do solo. Isto é de particular importância para a compreensão das funções dos solos das terras úmidas (Capítulo 7).

## 1.15 A INTERAÇÃO DOS QUATRO COMPONENTES NO FORNECIMENTO DE NUTRIENTES PARA AS PLANTAS

Enquanto você lê nossa discussão sobre cada um dos quatro principais componentes do solo, deve ter notado que o impacto de um componente nas propriedades do solo raramente acontece independentemente dos outros. Em vez disso, eles interagem entre si para determinar a natureza de um solo. Por exemplo, a matéria orgânica, por causa do seu poder físico de aglutinação, influencia o arranjo das partículas minerais em agregados e, ao fazê-lo, aumenta o número dos poros maiores do solo, influenciando as inter-relações entre o ar e água.

### Disponibilidade dos elementos essenciais

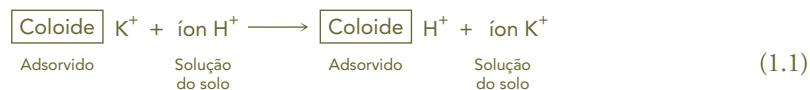
Talvez o mais importante processo interativo envolvendo os quatro componentes do solo seja o fornecimento de nutrientes essenciais para as plantas. As plantas absorvem esses nutrientes, junto com a água, diretamente de um desses componentes: a solução do solo. No entanto, a quantidade de nutrientes essenciais nesta solução do solo em um dado momento é suficiente para suprir as necessidades de crescimento da vegetação por apenas algumas horas ou dias. Como consequência, o nível de nutrientes da solução tem que ser constantemente reabastecido.

Felizmente, quantidades relativamente grandes desses nutrientes estão associadas tanto com os sólidos inorgânicos como com os orgânicos do solo. Por uma série de processos químicos e bioquímicos, os nutrientes são liberados dessas fases sólidas para reabastecer aquelas da solução do solo. Por exemplo, as minúsculas partículas coloidais – tanto argila como húmus – têm cargas elétricas positivas e negativas. Essas cargas tendem a atrair ou **adsorver**<sup>1</sup> íons de carga oposta dissolvidos na solução do solo e mantê-los como **íons trocáveis**. Por meio da troca iônica, elementos como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  são liberados a partir desse estado de adsor-

Troca de cátions em ação, University of New England, (EUA): [www.une.edu.au/agss/ozsoils/images/SSCATXCH.dcr](http://www.une.edu.au/agss/ozsoils/images/SSCATXCH.dcr)

<sup>1</sup> *Adsorção* se refere à atração de íons em direção à superfície das partículas; *absorção* é o processo pelo qual os íons são captados para o *interior* das raízes. Os íons adsorvidos podem ser trocados pelos da solução do solo.

ção eletrostática sobre superfícies coloidais e passam para a solução do solo. No exemplo abaixo, um íon  $H^+$  na solução do solo é mostrado trocando de lugar com um íon K adsorvido na superfície coloidal:



Manejo de nutrientes das plantas cultivadas na África:  
<http://www.fao.org/ag/magazine/spot3.htm>

O íon  $K^+$  assim liberado pode ser facilmente repassado (absorvido) pelas plantas. Alguns cientistas consideram que esse processo de troca iônica é uma das mais importantes reações químicas da natureza.

Os íons nutrientes também vão sendo liberados para a solução do solo à medida que seus micro-organismos decompõem os tecidos orgânicos. As raízes das plantas podem facilmente absorver todos esses nutrientes da solução do solo sempre que o  $O_2$  do seu ar seja suficiente para sustentar seu metabolismo.

A maioria dos solos contém grandes quantidades de nutrientes relativas às necessidades anuais para o crescimento das plantas. No entanto, a maior parte dos elementos nutrientes está retida no interior da estrutura dos minerais primários e secundários e da matéria orgânica. Apenas uma pequena fração do teor total de nutrientes de um solo está presente em formas prontamente disponíveis para as plantas. A Tabela 1.2 vai lhe dar uma ideia das quantidades de vários elementos essenciais presentes em diferentes formas em solos característicos de regiões úmidas e áridas.

A Figura 1.19 ilustra como os dois componentes sólidos do solo interagem com a fase líquida (a solução do solo) para fornecer elementos essenciais para as plantas. As raízes das plantas não ingerem partículas do solo, por menores que elas sejam, porque são somente capazes de absorver os nutrientes dissolvidos na solução do solo. Como os elementos contidos na estrutura dos minerais da fração do solo podem ser apenas muito lentamente liberados para a solução do solo, a maior parte dos nutrientes não está prontamente disponível para ser usada pela planta. Elementos nutrientes contidos no interior das partículas coloidais podem ser um pouco mais rapidamente liberados para as plantas, porque essas minúsculas partículas se alteram com mais rapidez devido à sua maior área de superfície. Dessa forma, os nutrientes contidos na estrutura dos minerais primários são o principal depósito e, em alguns solos, uma fonte significativa de elementos essenciais.

**Tabela 1.2** Quantidades dos seis elementos essenciais encontrados nos primeiros 15 cm de solos representativos de regiões temperadas

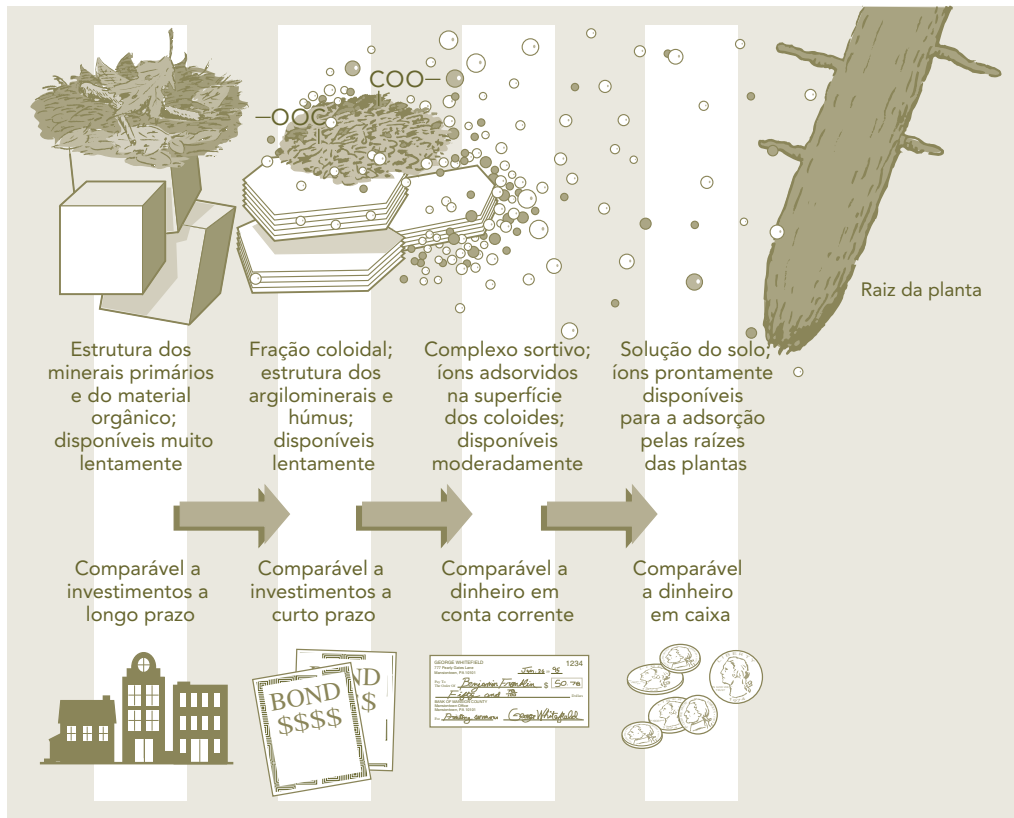
Elemento essencial	Solo de região úmida			Solo de região árida		
	Dentro dos sólidos, kg/ha	Trocáveis, kg/ha	Na solução do solo, kg/ha	Dentro dos sólidos, kg/ha	Trocáveis, kg/ha	Na solução do solo, kg/ha
Ca	8.000	2.250	60-120	20.000	5.625	140-280
Mg	6.000	450	10-20	14.000	900	25-40
K	38.000	190	10-30	45.000	250	15-40
P	900	–	0,05-0,15	1.600	–	0,1-0,2
S	700	–	2-10	1.800	–	6-30
N	3.500	–	7-25	2.500	–	5-20



## 1.16 A ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELAS RAÍZES DAS PLANTAS

Para que um elemento nutriente possa ser absorvido, ele deve estar em uma forma solúvel e situado *na superfície da raiz*. Muitas vezes, partes de uma raiz estão em contato tão íntimo com as partículas do solo (Figura 1.20) que uma troca direta pode ocorrer entre os íons de nutrientes adsorvidos na superfície dos coloides do solo e os íons  $H^+$  da superfície das membranas das células da raiz. Em todo caso, os nutrientes que estão sendo fornecidos em contato direto com a raiz serão logo esgotados. Esse fato levanta a questão de como uma raiz pode obter suprimentos adicionais quando os íons nutrientes situados na superfície radicular foram todos absorvidos pela raiz. Para isso existem três mecanismos básicos que podem fazer com que a concentração de íons nutrientes na superfície da raiz seja mantida (Figura 1.21).

Quem primeiro entra em cena é a **intercepção radicular** que acontece à medida que as raízes crescem continuamente em novas porções do solo, as quais ainda não estão esgotadas. Contudo, a maior parte dos íons de nutrientes devem se movimentar por certa distância na solução do solo para atingir a superfície da raiz. Esse movimento pode se dar por **fluxo de**



**Figura 1.19** Os elementos nutrientes existem nos solos sob várias formas e caracterizados por diferentes padrões de acessibilidade às raízes (mostrados aqui em analogia às aplicações financeiras, de acordo com os seus graus de liquidez). A parte maior dos nutrientes está retida na estrutura dos minerais primários, das argilas, da matéria orgânica bruta e do húmus. Uma proporção menor de cada nutriente está adsorvida em um aglomerado de íons próximo à superfície dos coloides (argilas e húmus). Desse aglomerado de íons adsorvidos, uma quantidade ainda menor é disponibilizada para a solução do solo, onde as raízes das plantas podem absorvê-los. (Diagrama: cortesia de R. Weil)

**massa**, que acontece quando os nutrientes dissolvidos são transportados junto com a água do solo que flui em direção a uma raiz e por esta é sugada. Esse tipo de movimento dos íons de nutrientes pode ser comparado às folhas flutuando na corrente de um rio. No entanto, as plantas podem continuar a absorver os nutrientes, mesmo à noite, quando a água é absorvida muito lentamente para as raízes. Para isso, os íons nutrientes se movimentam continuamente por **difusão**, partindo de áreas com maior concentração de nutrientes para as de menos concentração, estas situadas em torno da superfície da raiz.

Uma vez que a absorção de nutrientes é um processo metabólico ativo, as condições que inibem o metabolismo da raiz também podem inibir a sua absorção. Exemplos de tais condições inibidoras incluem o conteúdo excessivo de água ou a compactação do solo, resultando em aeração deficiente, temperaturas muito quentes ou frias e condições acima da superfície que resultam em baixa translocação de açúcares para as raízes das plantas. Dessa forma, podemos notar que a nutrição das plantas envolve processos biológicos, físicos e químicos, bem como interações entre os diversos componentes dos solos e do ambiente.

## 1.17 QUALIDADE DO SOLO, DEGRADAÇÃO E RESILIÊNCIA

Dados referentes à população mundial: [www.ibiblio.org/lunarbin/worldpop](http://www.ibiblio.org/lunarbin/worldpop)

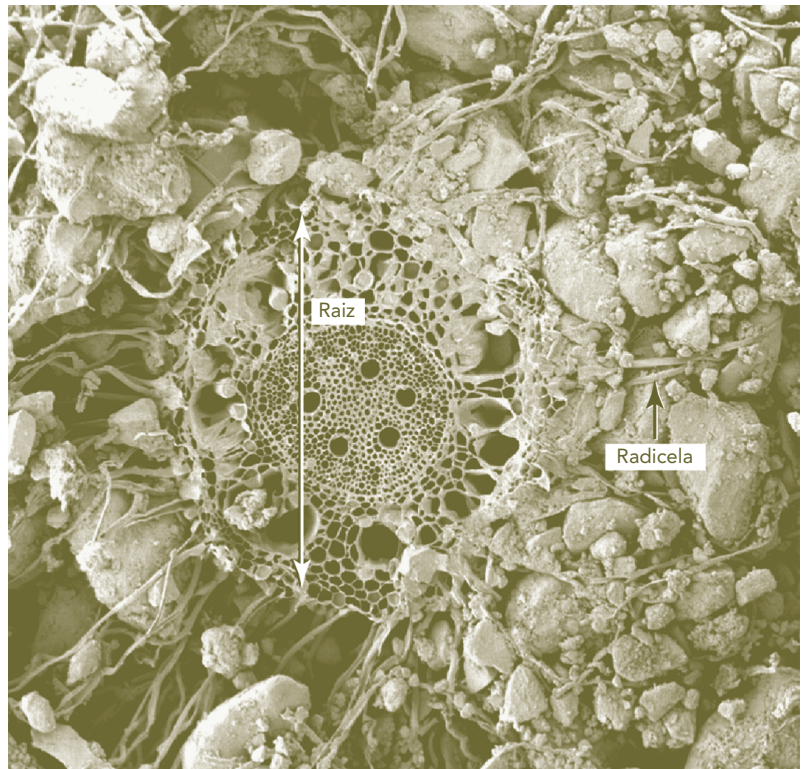
O solo é um recurso básico que suporta todos os ecossistemas terrestres. Quando os solos são cuidadosamente manejados, eles se tornam um recurso natural *reutilizável*; contudo, na escala de vidas humanas, eles não podem ser considerados um recurso *renovável*. Como veremos no próximo capítulo, a maior parte dos perfis de solo estão na humanidade há milhares de anos. Em todas as regiões do mundo, as atividades humanas estão destruindo alguns solos muito mais rápido do que a natureza pode reconstruí-los. Como mencionado no parágrafo de abertura deste capítulo, um número crescente de pessoas está exigindo mais quantidade de terras do planeta Terra. Por isso, quase todos os solos mais aptos para o cultivo já estão sendo cultivados. Portanto, como a cada ano surgem vários milhões de pessoas para serem alimentadas, a quantidade de terras cultiváveis por pessoa está continuamente diminuindo. Além disso, muitas das cidades mais importantes do mundo estão originalmente localizadas onde excelentes solos suportavam prósperas comunidades agrícolas, de forma que hoje grande parte das muitas terras agrícolas está sendo perdida para o desenvolvimento urbano à medida que essas cidades vão se expandindo.

Não é fácil encontrar mais terras nas quais seja possível cultivar alimentos. A maior parte das que estão sendo transformadas em campos de cultivo estão ocupando espaços onde antes existiam florestas naturais, savanas e pastagens. As imagens da Terra, feitas a partir de satélites em órbita, mostram a diminuição de terras cobertas por florestas e outros ecossistemas naturais. Ao mesmo tempo em que as populações humanas lutam para se alimentarem, as populações de animais selvagens são privadas de seus *habitats* vitais, e a biodiversidade, em geral, por isso decresce. Esforços para reduzir, e até reverter, o crescimento da população humana devem ser acelerados se quisermos deixar para os nossos filhos e netos um mundo habitável. Enquanto isso, se o espaço é necessário, tanto para pessoas como para animais selvagens, os melhores solos existentes nas terras agrícolas exigirão um manejo mais apropriado e intenso. Os solos completamente degradados pela erosão, ou escavados e asfaltados pela expansão urbana, estão permanentemente perdidos, para todos os efeitos práticos. Apesar disso, há que se considerar que, na maioria das vezes, essa degradação é da qualidade do solo, não significando que estejam completamente destruídos.

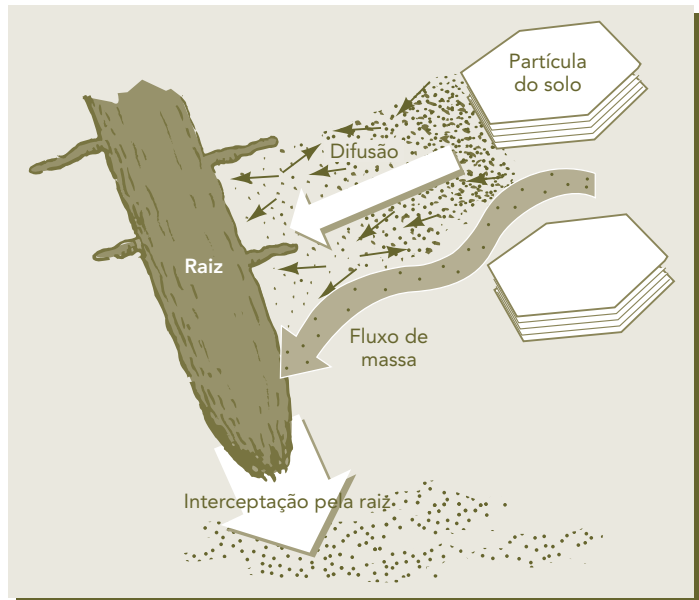
Visão geral dos conceitos sobre qualidade do solo: <http://soils.usda.gov/sqi/concepts/concepts.html>

A **qualidade do solo** é uma medida da sua capacidade para realizar determinadas funções ecológicas, como as descritas nas Seções 1.1 a 1.6. Ela reflete uma combinação das propriedades *físicas*, *químicas* e *biológicas*. Algumas delas são inerentes e relativamente imutáveis e ajudam a definir um determinado tipo de solo. Exemplos

**Figura 1.20** Microfotografia tomada por um microscópio eletrônico de varredura (MEV) de uma lâmina delgada do solo, mostrando uma seção transversal de uma raiz de cevada crescendo em um solo cultivado. Note o contato íntimo entre a raiz e o solo, que acontece principalmente com as longas radículas que penetram na porção mais próxima do solo para vinculá-lo ao corpo da raiz. A raiz em si tem cerca de 0,3 mm de diâmetro. (Foto: cortesia de Margaret McCully, CSIRO, Plant Industry, Canberra, Austrália)



**Figura 1.21** Três mecanismos principais pelos quais os íons de nutrientes dissolvidos na solução do solo entram em contato com as raízes das plantas. Todos os três mecanismos operam simultaneamente, mas um ou outro pode ser mais importante para um determinado nutriente. Por exemplo, no caso do cálcio, geralmente abundante na solução do solo, o fluxo de massa, por si só, pode frequentemente trazer quantidades suficientes para a superfície da raiz. No entanto, no caso do fósforo, a difusão é necessária para complementar o fluxo de massa porque a solução do solo tem concentrações muito baixas neste elemento, em comparação com os demais necessários às plantas. (Diagrama: cortesia de R. Weil)



delas são a textura e a composição mineral. Outras propriedades do solo, como a estrutura e o teor de matéria orgânica, podem ser significativamente alteradas pelo manejo. Essas propriedades mais mutáveis do solo podem indicar o grau de sua qualidade em relação ao seu potencial, à semelhança com que a turbidez ou o teor de oxigênio indica o grau da qualidade da água de um rio.

O manejo inadequado de lavouras, pastagens e florestas provoca a degradação generalizada da qualidade do solo pela erosão que, pouco a pouco, remove a camada superior do solo (Capítulo 14). Outra causa comum da degradação dos solos é o acúmulo de sais naqueles solos indevidamente irrigados nas regiões áridas (Capítulo 9). Quando se cultivam os solos e se faz a colheita das culturas sem retornar os resíduos orgânicos e nutrientes minerais, eles se tornam empobrecidos em matéria orgânica e nutrientes (Capítulo 11). Tal exaustão prevalece particularmente na África subsaariana, onde a qualidade do solo degradado está refletida na sua diminuição da capacidade de produzir alimentos. A contaminação de um solo com substâncias tóxicas oriundas de processos industriais ou derrames de produtos químicos pode prejudicar a sua capacidade de fornecer *habitat* para os seus organismos, possibilitar o crescimento de plantas adequadas para consumo ou abastecer com segurança as águas superficiais e subterrâneas (Capítulo 15). A degradação da qualidade do solo por poluição é geralmente localizada, mas os impactos ambientais e os custos envolvidos são muito grandes. O manejo **sustentável** do solo significa usá-lo de forma que ele continue proporcionando os benefícios presentes sem comprometer sua capacidade de satisfazer as necessidades das gerações futuras.

Embora o uso sustentável que proteja a qualidade do solo deva ser prioridade, muitas vezes é necessário, em primeiro lugar, tentar restaurar a qualidade daqueles que já foram degradados. Alguns solos têm **resiliência** suficiente para se recuperar de degradações menores quando deixados para revegetarem por conta própria. Em outros casos, mais esforço é necessário para restaurar os solos degradados (Capítulo 14). Para isso, adubos orgânicos e inorgânicos devem ser aplicados, a vegetação deve ser plantada, alterações físicas por meio de aração e gradagem podem ter que ser feitas ou contaminantes podem ter que ser removidos. E porque as sociedades ao redor do mundo vêm avaliando os danos feitos aos seus ecossistemas naturais e agrícolas, a ciência da **restauração ecológica** vem evoluindo rapidamente para orientar os administradores na restauração de comunidades vegetais e animais aos seus níveis anteriores de diversidade e produtividade. Portanto, os trabalhos de **restauração do solo**, que se constituem em uma parte essencial de todos esses esforços, exigem um profundo conhecimento de todos os aspectos do sistema solo.

## 1.18 CONCLUSÃO

O solo da Terra consiste em numerosos indivíduos solo, cada um dos quais é um corpo tridimensional natural na paisagem. Cada solo em particular é caracterizado por um conjunto único de propriedades e horizontes, expressos no seu perfil. A natureza das camadas de solo, visto em um determinado perfil, está estreitamente relacionada com a natureza das condições ambientais em um determinado local.

Os solos realizam seis grandes funções ecológicas. Eles (1) agem como o principal meio para o crescimento das plantas; (2) regulam o abastecimento de água; (3) modificam a atmosfera; (4) reciclam matérias-primas e produtos residuais; (5) fornecem o *habitat* para muitos tipos de organismos; e (6) servem como um meio importante para a engenharia na construção civil. Portanto, o solo é um ecossistema importante por si só. Os solos do mundo são extremamente diversos, cada tipo podendo ser caracterizado por um conjunto único de horizontes. Um solo superficial característico em boas condições para o crescimento da planta é composto por cerca de metade de material sólido (principalmente minerais, mas também com um importante componente orgânico) e metade dos poros preenchidos com diferentes proporções de água e ar. Esses componentes interagem para influenciar uma miríade de funções complexas do solo; portanto, conhecer bem os solos é essencial para o bom manejo dos nossos recursos terrestres.

Se reservarmos algum tempo para aprender a linguagem da terra, o solo falará conosco.

Provérbios sobre o solo.  
Yoseph Araya. Vá até a  
p.40:  
[http://www.iuss.org/  
Bulletins/IUSS%20  
Bulletin%20103.pdf](http://www.iuss.org/Bulletins/IUSS%20Bulletin%20103.pdf)

## QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Considerando que somos uma civilização, responda: nossa dependência dos solos deverá aumentar ou diminuir nas próximas décadas? Explique sua resposta.
2. Discuta como *um solo*, como corpo natural, difere de *solo*, um material que é usado para a construção de um leito de estrada.
3. Quais são as seis principais funções do solo em um ecossistema? Para cada uma dessas funções ecológicas, sugira uma na qual as interações ocorram com algumas das outras seis funções.
4. Reflita sobre algumas atividades das quais você participou na semana passada. Faça uma lista de todas as situações em que você esteve em contato direto com o solo.
5. A Figura 1.12 mostra a composição volumétrica ideal para um solo superficial de textura média nas condições ideais para o crescimento das plantas. Para ajudar você a entender as relações entre os quatro componentes, desenhe novamente o gráfico de pizza, a fim de representar como esses quatro componentes poderiam ficar depois do solo ter sido compactado por um tráfego pesado. Em seguida, desenhe outro gráfico semelhante, mostrando como os quatro componentes estariam relacionados com base em sua massa (peso), em vez de volume. Dica: qual é o peso do ar?
6. Explique, com suas próprias palavras, como o suprimento de nutrientes do solo fica retido sob diferentes formas, do mesmo modo como os recursos econômicos de uma pessoa podem estar guardados.
7. Faça uma listagem dos nutrientes essenciais que as plantas obtêm, sobretudo, dos solos.
8. Todos os elementos contidos nas plantas são essenciais? Explique sua resposta.
9. Defina os seguintes termos: *textura do solo*, *estrutura do solo*, *pH do solo*, *húmus*, *perfil do solo*, *horizonte B*, *qualidade do solo*, *solum* e *saprolito*.
10. Descreva quatro processos que normalmente levam à degradação da qualidade do solo.
11. Compare as abordagens pedológica e edafológica para o estudo dos solos. Qual delas está mais diretamente relacionada com a geologia e a ecologia?

## REFERÊNCIAS

- Abrahams, P. W. 2005. "Geophagy and the involuntary ingestion of soil," pp. 435–457, in O. Selinus (ed.), *Essentials of medical geology*. Elsevier, The Hague.
- Epstein, E., and A. J. Bloom. 2005. *Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives*, 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2005. *Global forest resources assessment 2005*. [www.fao.org/forestry/site/fra2005/en](http://www.fao.org/forestry/site/fra2005/en) (verified 17 November 2008).
- Stokes, T. 2006. The earth-eaters. *Nature* 444:543–554.