



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROJETO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA SOLO NA ESCOLA



O SOLO NO MEIO AMBIENTE:

**Abordagem para Professores do
Ensino Fundamental e Médio e
Alunos do Ensino Médio**



O SOLO NO MEIO AMBIENTE

**Abordagem para Professores do
Ensino Fundamental e Médio
e Alunos do Ensino Médio**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROJETO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA SOLO NA ESCOLA



O SOLO NO MEIO AMBIENTE

**Abordagem para Professores do
Ensino Fundamental e Médio
e Alunos do Ensino Médio**

EDITORES

Valmiqui Costa Lima
Marcelo Ricardo de Lima
Vander de Freitas Melo

CURITIBA – PR
2007

Copyright©2007 por Valmiqui Costa Lima, Marcelo Ricardo de Lima e Vander de Freitas Melo.

Os conceitos e opiniões emitidos pelos autores dos capítulos são de responsabilidade dos mesmos. É vedada reprodução, transcrição, citação ou referência sem autorização prévia, e por escrito, dos respectivos autores.

Exemplares desta obra devem ser solicitados ao:
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola
Universidade Federal do Paraná
Rua dos Funcionários, 1540 –80035-050 – Curitiba – PR
Telefone: (41) 3350-5658. E-mail: depsolos@ufpr.br
Home page: www.escola.agrarias.ufpr.br

2007 – 1ª edição
Tiragem: 1000 exemplares
ISBN: 85-89950-02-6



Ficha Catalográfica
Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias

Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola.

O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2007

130p. : il.

1. Solos. 2. Ciência do solo. I. Título

CDD 631.4

CDU 631.4

SUMÁRIO

Página

Capítulo 1

FORMAÇÃO DO SOLO

Valmiqui Costa Lima, Marcelo Ricardo de Lima 1

Capítulo 2

PERFIL DO SOLO E SEUS HORIZONTES

Valmiqui Costa Lima, Vander de Freitas Melo 11

Capítulo 3

NOÇÕES DE MORFOLOGIA DO SOLO

Marcelo Ricardo de Lima 17

Capítulo 4

COMPOSIÇÃO DO SOLO, CRESCIMENTO DE PLANTAS E POLUIÇÃO AMBIENTAL

Vander de Freitas Melo, Valmiqui Costa Lima 27

Capítulo 5

FERTILIDADE DO SOLO E CICLO DOS NUTRIENTES

Antônio Carlos Vargas Motta, Milena Barcellos 49

Capítulo 6

BIOLOGIA DO SOLO

Jair Alves Dionísio, Jorge Ferreira Kusdra, Eliana da Silva Souza Kusdra 65

Capítulo 7

CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA DE SOLOS

Valmiqui Costa Lima, Marcelo Ricardo de Lima, Vander de Freitas Melo 77

Capítulo 8

O SOLO NA PAISAGEM

Angelo Evaristo Sirtoli 89

Capítulo 9

FUNÇÕES DO SOLO NO MEIO AMBIENTE

Antonio Carlos Vargas Motta, Milena Barcellos 99

Capítulo 10

CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS SOLO E ÁGUA

Nerilde Favaretto, Jeferson Dieckow 111

Capítulo 11

O SOLO NO AMBIENTE URBANO

Valmiqui Costa Lima 127

PREFÁCIO

A presente publicação torna realidade um dos objetivos do Projeto de Extensão Universitária Solo na Escola, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR, que é desenvolver instrumentos didáticos com a finalidade de auxiliar e facilitar os professores do ensino fundamental e médio a entender e trabalhar o tema solos com seus alunos.

É importante enfatizar que o tema solo pode e deve ser abordado durante todo o curso fundamental e médio, em todas as matérias e disciplinas, de forma interdisciplinar, com diferentes graus de complexidade de acordo com o ciclo em que se está trabalhando. Na presente publicação procurou-se enfatizar a visão do solo como componente fundamental do meio ambiente, que faz parte do nosso cotidiano, uma vez que, a todo instante, estamos interagindo com o solo. De maneira geral, o estudante não tem clara esta visão e julga que o solo serve e é utilizado apenas e exclusivamente com atividades agrícolas.

Existem inúmeras formas para ensinar o tema solo tanto no meio urbano ou rural. Acreditamos que uma abordagem interdisciplinar fará com que os alunos adquiram maior interesse no estudo do solo e consigam melhor entender o papel e as funções que exerce no meio ambiente, o que, sem dúvida, permitirá a aquisição e aumento da necessária consciência ecológica.

Considerando que esta publicação tem como meta iniciar professores no estudo do solo, foram selecionados conteúdos considerados básicos para compreensão e melhor entendimento do tema, com base nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs). Buscou-se, sempre que possível, dar um tratamento simplificado aos assuntos tratados, como uma maneira de maximizar a sua compreensão, porém sem descuidar do rigor científico.

O solo é um componente fundamental do ecossistema terrestre por ser principal substrato utilizado pelas plantas para o seu crescimento e disseminação. O solo fornece às raízes fatores de crescimento, tais como: suporte, água, oxigênio e nutrientes.

Além disto, o solo exerce multiplicidade de funções, a saber: a) regulação da distribuição, armazenamento, escoamento e infiltração da água da chuva e de irrigação; b) armazenamento e ciclagem de nutrientes para as plantas e outros organismos; c) ação filtrante de poluentes e proteção da qualidade da água. O ser humano também utiliza o solo enquanto matéria-prima ou substrato para obras civis (casas, indústrias, estradas), cerâmica e artesanato.

Como recurso natural dinâmico, o solo é passível de ser degradado em decorrência de seu uso inadequado pelo ser humano. Nesta condição, o desempenho de suas funções básicas fica severamente prejudicado, acarretando interferências negativas no equilíbrio ambiental, e diminuindo drasticamente a qualidade de vida nos ecossistemas.

Atualmente, pode-se observar a degradação do solo em diversos processos, tais como: redução de sua fertilidade natural; diminuição da matéria orgânica do solo; perda de solo e água por erosão hídrica (causada pelas chuvas) e eólica (causada pelo vento); contaminação por resíduos urbanos e industriais (inclusive lixo); alteração do solo para obras civis (cortes e aterros); decapeamento do solo para fins de exploração mineral; desertificação e arenização dos solos.

Muitas vezes, a comunidade esquece que o solo faz parte do ambiente e é essencial à existência da vida sobre os continentes.

O Dia Nacional da Conservação do Solo é comemorado no dia 15 de abril (Lei Federal 7867, de 13 de novembro de 1989), mas a preocupação com este componente da natureza não pode se restringir apenas a este dia, devendo ser uma presença diária nas discussões ambientais.

O estudo científico do solo, a aquisição e disseminação de informações sobre o papel que ele exerce e sua importância na vida do homem são condições primordiais para sua proteção e conservação e a garantia da manutenção de um ambiente sadio e sustentável.

A ciência do solo envolve várias áreas, tais como: gênese (formação), química, física, fertilidade, ensino, uso, manejo e conservação, biologia, classificação, levantamento, mineralogia e morfologia; dentre outras. Dada a importância do solo, muitas universidades e institutos de pesquisa contam com departamentos que se dedicam especificamente ao estudo desse tema.

Todo o conhecimento gerado sobre solos nos últimos cem anos tem sido utilizado por diversos profissionais, destacando-se: produtor agrícola, produtor florestal, pecuarista, técnico agropecuário, técnico florestal, engenheiro civil, engenheiro ambiental, engenheiro-agrônomo, zootecnista, geólogo, engenheiro agrícola, geógrafo, biólogo, engenheiro florestal, dentre outros. Além destes profissionais, a população em geral deve ser estimulada a conhecer o solo, para entender suas funções e se preocupar com a sua preservação.

Apesar de sua importância, o espaço dedicado ao solo, no ensino fundamental e médio, é freqüentemente nulo ou relegado a um plano menor, tanto na área urbana como rural. Este conteúdo nos materiais didáticos, muitas vezes, está em desacordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e, freqüentemente encontra-se desatualizado, incorreto ou fora da realidade dos solos brasileiros. Além disto, este conteúdo é, muitas vezes, ministrado de forma estanque, sem relacionar-se com a utilidade prática ou cotidiana desta informação, causando desinteresse tanto ao aluno quanto ao professor. Tais razões contribuem para que a população desconheça a importância e características do solo, o que amplia o seu processo de alteração e degradação.

No entanto, experiências desenvolvidas por algumas universidades e escolas mostram que os alunos e professores podem ser estimulados a mudar este quadro, incluindo o solo dentro das preocupações ambientais da escola e, por extensão, da sociedade brasileira.

Valmiqui Costa Lima, Marcelo Ricardo de Lima e Vander de Freitas Melo

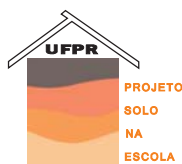
Os Editores

O PROJETO SOLO NA ESCOLA

O Projeto de Extensão Universitária Solo na Escola é uma atividade iniciada em 2002, e coordenada por professores do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), com o apoio de estudantes de graduação e professores e alunos do ensino fundamental e médio.

O objetivo geral deste projeto é promover, nos professores e estudantes do ensino fundamental e médio, a conscientização de que o solo é um componente do ambiente natural que deve ser adequadamente conhecido e preservado, tendo em vista sua importância para a manutenção do ecossistema terrestre e sobrevivência dos organismos que dele dependem. Os objetivos específicos são: **a)** desenvolver e divulgar material didático sobre solos para o ensino médio e fundamental; **b)** aprimorar mecanismos que permitam a visita de escolares à Universidade para conhecer o tema solos; **c)** capacitar professores do ensino fundamental e médio a compreender e ensinar o tema solos.

Para atingir estes objetivos, são desenvolvidas atividades que envolvem: promoção de visitas de escolares à Exposição Didática de Solos; produção de material didático; organização de cursos e eventos de extensão universitária para professores; divulgação de informações pelo site do projeto na Internet (www.escola.agrarias.ufpr.br); participação em eventos e produção científica e avaliação contínua das atividades. O projeto procura estabelecer parcerias com outras instituições e projetos de extensão, com vistas a viabilizar a sua implementação e divulgação dos resultados obtidos.



www.escola.agrarias.ufpr.br

PROFESSORES E ESCOLARES DO ENSINO FUNDAMENTAL EM VISITAS ORIENTADAS AO PROJETO SOLO NA ESCOLA



ESCOLARES EXAMINANDO O SOLO



CORES DO SOLO



MINHOCÁRIO



PROFESSORES EXAMINANDO O SOLO



ATIVIDADES NA EXPOSIÇÃO DIDÁTICA DE SOLOS

AGRADECIMENTOS

Aos professores do ensino fundamental e médio que participaram dos cursos, eventos e demais atividades do Projeto de Extensão Universitária Solo na Escola, pelas valiosas críticas e sugestões.

Aos alunos bolsistas do Projeto de Extensão Universitária Solo na Escola, que atuam diariamente recebendo estudantes do ensino fundamental na Exposição Didática de Solos do DSEA/UFPR e contribuem na criação e teste de novas experiências didáticas para o ensino de solos.

CAPÍTULO 1

FORMAÇÃO DO SOLO

Valmiqui Costa Lima¹
Marcelo Ricardo de Lima¹

1. INTRODUÇÃO

O solo é o sustentáculo da vida e todos os organismos terrestres dele dependem direta ou indiretamente. É um corpo natural que demora para nascer, não se reproduz e “morre” com facilidade. Para dar a necessária importância ao solo e protegê-lo, é fundamental conhecer a maneira como se forma e quais os elementos da natureza que participam na sua formação.

O solo resulta da ação simultânea e integrada do **clima** e **organismos** que atuam sobre um **material de origem** (geralmente rocha), que ocupa determinada paisagem ou **relevo**, durante certo período de **tempo**. Esses elementos (rocha, clima, organismo, relevo e tempo) são chamadas de **fatores** de formação do solo (Figura 1). Esses fatores são parte do meio ambiente e atuam de forma conjunta (Figura 2).

Durante seu desenvolvimento o solo sofre a ação de diversos **processos** de formação como **perdas, transformações, transportes e adições**. Esses processos são responsáveis pela transformação da rocha em solo, diferenciando-se desta por ser constituído de uma sucessão vertical de camadas que diferem entre si na cor, espessura, granulometria, conteúdo de matéria orgânica e nutrientes de plantas.

Esses processos (adições, perdas, transformações e transportes) são responsáveis pela formação de todos os tipos de solos existentes. Considerando que todos os solos são formados pela atuação desses processos, como se explica que na natureza existam diversos tipos de solos? A explicação é que esses processos atuam com diferentes intensidades de acordo com a variação nos fatores de formação.

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mails: valmiqui@ufpr.br; mrlima@ufpr.br

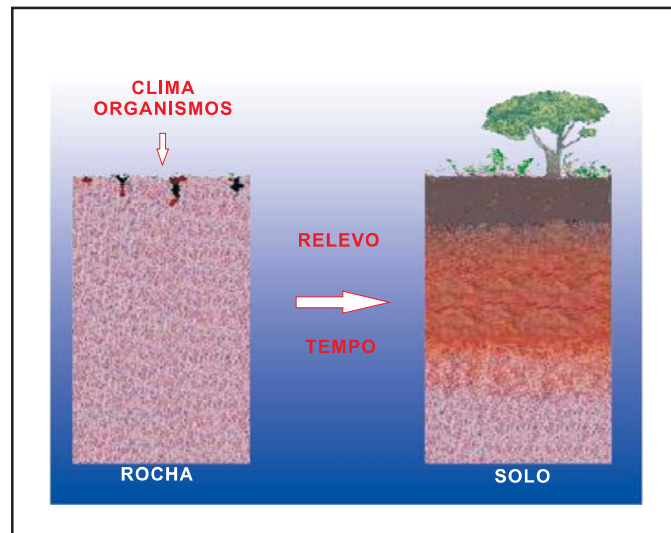


Figura 1. Fatores de formação do solo.

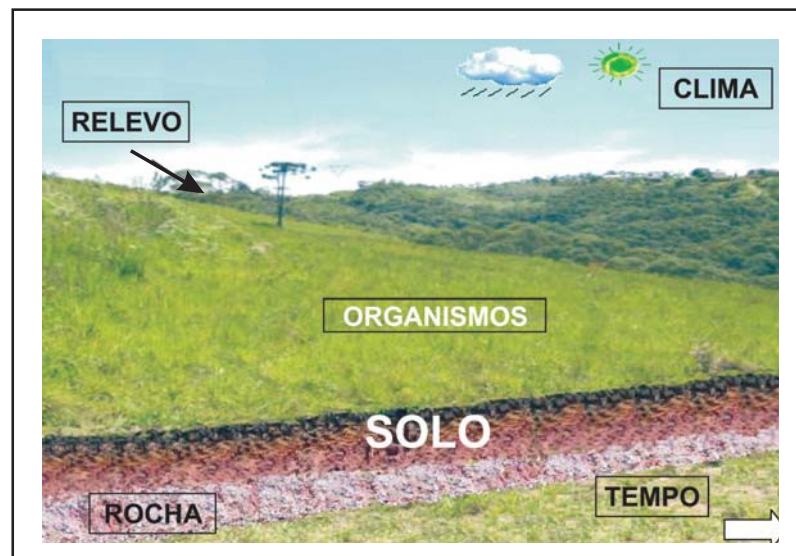


Figura 2. A paisagem e os fatores responsáveis pela formação do solo.

Para facilitar a compreensão, pode ser feita uma analogia entre a formação do solo e o trabalho de um marceneiro para fazer uma cadeira escolar. Para fazer uma cadeira, o marceneiro necessita de fatores (matéria-prima), como madeira, pregos, tinta, mão-de-obra, energia elétrica e ferramentas. Para formar o solo, a natureza necessita de **fatores**, como clima, material de origem, relevo, organismos e tempo cronológico. Para fazer a cadeira, o marceneiro necessita executar processos (ações), como cortar, lixar, pregar e pintar. A natureza também executa **processos** para formar o solo, como adições, perdas, transformações e transportes.

2. FATORES DE FORMAÇÃO DO SOLO

2.1. Material de Origem

O material de origem é a matéria-prima a partir da qual os solos se desenvolvem, podendo ser de natureza mineral (rochas ou sedimentos) ou orgânica (resíduos vegetais). Por ocuparem extensões consideráveis, os materiais rochosos são, sem dúvida, os mais importantes e abrangem os diversos tipos conhecidos de rochas (Quadro 1).

Quadro 1. Exemplos dos principais tipos de rochas

MAGMÁTICAS	METAMÓRFICAS	SEDIMENTARES
Granito	Gnaisse	Arenitos
Basalto	Quartzito	Argilitos
Diabásio	Xistos	Calcários

Dependendo do tipo de material de origem, os solos podem ser arenosos, argilosos, férteis ou pobres.

É importante salientar que uma mesma rocha poderá originar solos muito diferentes, dependendo da variação dos demais fatores de formação. Por exemplo, um granito, em região de clima seco e quente, origina solos rasos e pedregosos em virtude da reduzida quantidade de chuvas. Já, em clima úmido e quente, essa mesma rocha dará origem a solos mais profundos, não-pedregosos e mais pobres.

Em qualquer clima, os arenitos geralmente originam solos de textura grosseira (arenosa), têm baixa fertilidade, armazenam pouca água e são muito propensos à erosão. Rochas como o basalto originam solos de textura argilosa e com altos teores de ferro, pois são ricas nesse elemento. Solos originados a partir de argilitos apresentarão textura argilosa, isto é, com predominância de argila.

Com exceção do hidrogênio, oxigênio, carbono e nitrogênio, os demais nutrientes para as plantas, como cálcio, magnésio, potássio e fósforo, provêm dos minerais presentes nas rochas que, ao se decomporem pela ação do intemperismo, liberam esses elementos para o solo para serem absorvidos pelos vegetais.

Rochas com grandes quantidades de elementos nutrientes podem originar solos férteis, ao passo que solos derivados de rochas pobres serão inevitavelmente de baixa fertilidade. Solos derivados de arenito (rocha geralmente pobre em nutrientes) possuem baixa quantidade de nutrientes (cálcio, magnésio, potássio), comparativamente aos originados de basalto (rochas mais ricas em nutrientes).

2.2. Clima

O clima exerce influência na formação dos solos principalmente através da precipitação e temperatura.

Em ambientes extremos, como desertos frios ou quentes, a água está em estado sólido (gelo) ou ausente, o que dificulta ou mesmo impede a formação do solo. Para atuação de processos de intemperismo e de formação do solo há necessidade de existir água em estado líquido.

Precipitações e temperaturas elevadas favorecem os processos de formação do solo. Climas úmidos e quentes (regiões tropicais) são fatores favoráveis à formação de solos muito intemperizados (alterados em relação à rocha), profundos e pobres, o que resulta em acidez e baixa fertilidade, como é o caso da maioria dos solos brasileiros. Em regiões de baixa precipitação (áridas e semi-áridas), os solos são menos intemperizados, mais rasos, de melhor fertilidade e, geralmente, pedregosos. Graças à vegetação escassa, a quantidade de matéria orgânica, adicionada em climas secos, é inferior à dos solos de regiões úmidas.

2.3. Relevo

Dependendo do tipo de relevo (plano, inclinado ou abaciado) (Figura 3), a água da chuva pode entrar no solo (infiltração), escoar pela superfície (ocasionando erosão) ou se acumular (formando banhados).

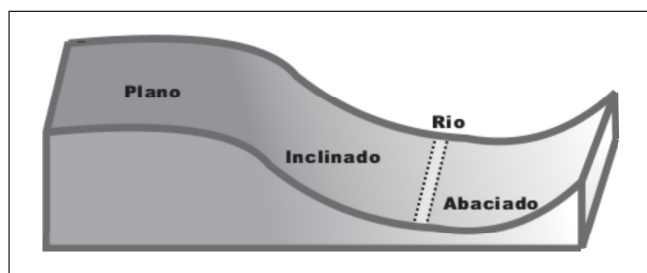


Figura 3. Representação esquemática dos tipos de relevo que ocorrem na paisagem.

Nos relevos planos, praticamente toda a água da chuva entra no solo, propiciando condições para formação de solos profundos.

Em relevos inclinados, grande parte da água escorre pela superfície, favorecendo processos erosivos e dificultando a formação do solo, sendo tais áreas ocupadas, predominantemente, por solos rasos (Figura 4).

As áreas com relevo abaciado, além das águas da chuva, também recebem aquelas provenientes das áreas inclinadas, tendendo a um acúmulo e favorecendo o aparecimento de banhados (várzeas), onde se formam os solos chamados de hidromórficos, ou seja, com excesso de água. Quando derivados de material de origem vegetal acumulado em áreas encharcadas, como banhados, os solos tendem a apresentar grandes quantidades de matéria orgânica (Figura 5).

Em relevos planos, podem ocorrer solos rasos quando a região é muito seca, e a quantidade de chuvas não é suficiente para a formação de um solo profundo. Também podemos ter solos rasos em regiões planas, mesmo em climas muito chuvosos, quando os solos são desenvolvidos a partir de rochas muito resistentes ao intemperismo (alteração).



Figura 4. Relevo inclinado favorece a formação de solos rasos (Almirante Tamandaré, PR).



Figura 5. Relevo abaciado e com acúmulo de água favorece a formação de solos escuros com altos teores de matéria orgânica (Município de Curitiba, PR).
(Foto: Luiz Claudio de Paula Souza).

2.4. Organismos

Os organismos que vivem no solo (vegetais, minhocas, insetos, fungos, bactérias, etc.) exercem papel muito importante na sua formação, visto que, além de seus corpos serem fonte de matéria orgânica, atuam também na transformação dos constituintes orgânicos e minerais.

A vegetação exerce marcante influência na formação do solo pelo fornecimento de matéria orgânica, na proteção contra a erosão pela ação das raízes fixadas no solo, assim como as folhas evitam o impacto direto da chuva. Ao se decompor, a matéria orgânica libera ácidos que também participam na transformação dos constituintes minerais do solo.

A fauna (representada por inúmeras espécies de minhocas, besouros, formigas, cupins, etc.) age na trituração e transporte dos resíduos vegetais no perfil do solo.

Os fungos e as bactérias realizam o ataque microbiano, transformando a matéria orgânica fresca em húmus, o qual apresenta grande capacidade de retenção de água e nutrientes, o que é muito importante para o desenvolvimento das plantas que habitam o solo. Maiores detalhes são encontrados nos capítulos sobre biologia e composição do solo.

2.5. Tempo

Para a formação do solo, é necessário determinado tempo para atuação dos processos que levam à sua formação. O tempo que um solo leva para se formar depende do tipo de rocha, do clima e do relevo. Solos desenvolvidos a partir de rochas mais fáceis de ser intemperizadas formam-se mais rapidamente, em comparação com aqueles cujo material de origem é uma rocha de difícil alteração. Por exemplo, os solos derivados de quartzito (rocha rica em quartzo) demoram mais tempo para se formarem do que os solos originados de diabásio (rocha rica em ferro), por ser o mineral quartzo muito resistente ao intemperismo (alteração).

Nos relevos mais inclinados (morros, montanhas), o tempo necessário para formação de um solo é muito mais longo, comparativamente aos relevos planos, uma vez que, nos primeiros, a erosão natural é muito maior.

Percebe-se, ainda, que os solos mais velhos têm maior quantidade de argila que os jovens, isto porque, no transcorrer do tempo de formação, os minerais primários, herdados da rocha e que fazem parte das frações mais grosseiras do solo (areia e silte), vão-se transformando em argila (fração mais fina do solo).

Quando originados de uma mesma rocha, os solos mais velhos apresentam, usualmente, menor quantidade de nutrientes, os quais são removidos em solução pelas águas das chuvas. É comum achar que todos os solos jovens são mais férteis que os solos velhos. Porém, um solo jovem será de baixa fertilidade se a rocha que lhe deu origem for pobre em nutrientes.

Uma questão freqüentemente levantada é: "Quanto tempo leva um solo para ser formado"? Essa pergunta é difícil de ser respondida porque o tempo de vida do ser humano é muito curto para acompanharmos esse processo. A única certeza é que são necessários milhares de anos. O tempo de formação do solo é longo; todavia, sua degradação pode ser rápida, motivo pelo qual sua utilização deve ser cercada de todo cuidado.

3. PROCESSOS DE FORMAÇÃO DO SOLO

3.1. Adições

Tudo que é incorporado ao solo em desenvolvimento é considerado como adição. O principal constituinte adicionado é a matéria orgânica proveniente da morte dos organismos que vivem no solo, principalmente a vegetação. Por serem ricos no elemento carbono, esses compostos orgânicos imprimem cores escuras à porção superior do solo.

A quantidade de matéria orgânica incorporada nos solos é muito variável pois depende do tipo de clima e do relevo. Em climas com pouca chuva, a vegetação é escassa, resultando em menor adição de matéria orgânica. Em climas mais chuvosos, a vegetação é mais abundante e a quantidade de matéria adicionada é maior, fazendo com que os solos apresentem a sua parte superficial mais escura e espessa.

3.2. Perdas

Durante o seu desenvolvimento os solos perdem materiais na forma sólida (erosão) e em solução (lixiviação). Em relevos muito inclinados os solos são mais rasos em decorrência da perda de materiais por erosão (Figura 4).

A água da chuva solubiliza os minerais do solo os quais liberam elementos químicos (principalmente cálcio, magnésio, potássio e sódio) que são levados para as águas subterrâneas. Esse é um processo de perda denominado lixiviação. Em regiões com pouca chuva, as perdas desses elementos químicos são menos intensas, comparativamente àquelas com maior precipitação. Essas perdas por lixiviação explicam a ocorrência de solos muito pobres (baixa fertilidade) mesmo sendo originados a partir de rochas que contêm grande quantidade de elementos nutrientes de plantas.

3.3. Transformações

São denominadas transformações os processos que ocorrem durante a formação do solo produzindo alterações químicas, físicas e biológicas. Como exemplo de alteração química, pode-se citar a transformação dos minerais primários (que faziam parte da rocha) em novos minerais (minerais secundários). As argilas são o exemplo mais comum de minerais secundários. É o caso de muitas rochas que não contêm argila, porém esse material faz parte do solo formado. Qual seria a explicação? Nesse caso, alguns minerais primários da rocha sofreram intemperismo e se transformaram em argila. E de onde vieram as areias que os solos contêm? Essas areias são provenientes também dos minerais contidos na rocha e que ainda não foram transformados ou são muito resistentes para serem alterados.

As cores vermelha, amarela ou vermelho-amarela são resultantes da formação de compostos (óxidos) a partir do elemento químico ferro liberado pela alteração das rochas.

Os materiais vegetais que caem no solo (folhas, galhos, frutos e flores) e as raízes que morrem também sofrem transformações. Pela atuação de organismos do solo, transformam-se em húmus, que é um composto mais estável e responsável pela cor preta dos solos. Nesse processo, ocorre liberação de ácidos orgânicos, que também contribuem para a alteração dos componentes minerais do solo.

As transformações ocorridas durante todos os estádios de desenvolvimento dos solos são mais intensas em regiões úmidas e quentes (zonas tropicais). A água é necessária para hidratar e dissolver minerais, processo que é acelerado em temperaturas mais elevadas. Na porção tropical úmida do Brasil, ocorrem solos considerados muito velhos e intemperizados por terem sido submetidos durante muito tempo a esses processos de transformação e perda, sendo, como resultado, muito profundos e muito pobres em nutrientes.

3.4. Transportes

Em decorrência da ação da gravidade e da evapotranspiração (perda de água das plantas e do solo pela ação do calor), pode ocorrer translocação de materiais orgânicos e minerais dentro do próprio solo. Essa movimentação pode se dar nos dois sentidos, ou, seja, de cima para baixo ou de baixo para cima. Em condições de clima com poucas chuvas, elementos químicos, como, por exemplo, o sódio, podem ser levados em solução para a superfície do solo e depositados na forma de sal. Em climas úmidos, ácidos orgânicos e partículas minerais de tamanho reduzido (argila) podem ser transportados pela água para os horizontes mais profundos do solo.

4. FORMAÇÃO DO PERFIL DE SOLO

A formação do solo inicia-se a partir do momento em que o **material de origem** (rocha) é exposto na superfície terrestre, quando, então, passa a sofrer ação de agentes do **clima**, principalmente precipitação e temperatura, acionando processos de intemperismo ("apodrecimento" da rocha) (Figura 6-1).

À medida que se intemperiza, a rocha vai desagregando e ficando mais porosa, passando a reter água e elementos químicos (cálcio, magnésio, potássio, sódio, ferro, etc) e oferecendo condições de colonização por organismos pioneiros, como musgos, líquens, algas, etc. (Figura 6-2). Com o passar do **tempo**, o solo vai ficando mais espesso (Figura 6-3), permitindo a instalação de plantas de maior porte. Ao morrerem, esses **organismos** fornecem matéria orgânica (**adição**), que passa a ser incorporada continuamente ao solo, além de fornecer ácidos orgânicos, que aceleram o intemperismo.

Os minerais primários (oriundos da rocha) sofrem **transformações**, alterando-se química e fisicamente e dando origem a novos minerais (minerais secundários), tais como: minerais silicatados e óxidos de ferro e alumínio.

Abaixo da camada superficial mais escura do solo, a rocha continua se intemperizando e apresenta coloração vermelha graças à presença do ferro (Figura 6-4). Parte dos nutrientes (cálcio, magnésio, potássio, etc.), liberados desses minerais, também são "lavados" do solo (perdas).

Pela ação da gravidade, partículas de argila suspensas em água e compostos orgânicos podem deslocar-se pelos poros do solo, possibilitando algum acúmulo em profundidade (**transporte** descendente) (Figura 6.5). Em climas secos, alguns sais são trazidos à superfície do solo (**transporte** ascendente), graças à evaporação da água.

Assim, na Figura 6-1, o solo ainda não se formou, estando em desenvolvimento nas Figuras 6-2 até 6-4, e pode ser considerado praticamente em estágio final de desenvolvimento na Figura 6-5.

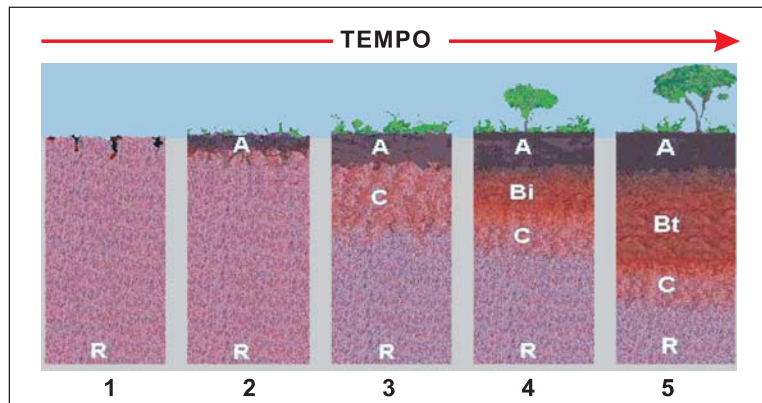


Figura 6. Seqüência cronológica hipotética de evolução do perfil do solo.
As letras A, B, C, R são os horizontes e camadas que constituem o solo.

Com esta ação continuada dos processos pedogenéticos (transformações, perdas, transportes e adições), a massa inicial de rocha alterada homogênea passou a adquirir propriedades e características variáveis em profundidade (diferenciação vertical), tais como: cor, porosidade, conteúdo de matéria orgânica, etc., formando os horizontes do perfil do solo. Na Figura 6-5, observa-se que: a) O solo apresenta diferentes cores em profundidade; b) A parte superficial (A) é escurecida pela matéria orgânica; c) A porção central (B) exibe cor vermelha (ou amarelada, em alguns casos) por causa do ferro; d) Logo abaixo vem a rocha alterada (C) de cor vermelha e acinzentada; e) Por último, tem-se a rocha fresca (R), que ainda não foi alterada.

5. RESUMO

- **SOLO:** É um corpo natural formado pela ação dos processos pedogenéticos que atuam com intensidade variável de acordo com os fatores de formação do solo.
- **INTemperismo:** Conjunto de processos físicos, químicos e biológicos que atuam sobre as rochas, desintegrando-as e decompondo-as, propiciando a formação do perfil do solo.
- **FATORES DE FORMAÇÃO DO SOLO:** Material de origem, clima, relevo, organismos e tempo.
- **ROCHAS:** São os principais materiais de origem dos solos. Dependendo do tipo de rocha, os solos podem ter mais ou menos areia e argila, e serem férteis ou pobres.
- **CLIMA:** Climas quentes e úmidos favorecem a formação de solos profundos; em climas áridos, os solos tendem a ser mais rasos e pedregosos.
- **RELEVO:** Os solos tendem a ser mais profundos em relevos planos. Em relevos inclinados, geralmente são rasos.
- **ORGANISMOS:** auxiliam na formação do solo adicionando matéria orgânica e transformando materiais.
- **PROCESSOS PEDOGENÉTICOS:** Adições, perdas, transportes e transformações.
- **ADIÇÕES:** Toda e qualquer adição de material ao solo durante sua formação. Exemplo: adição de matéria orgânica pelos organismos do solo.
- **PERDA:** Toda e qualquer remoção de material do solo durante o seu desenvolvimento. Exemplo: remoção de solo por erosão, perdas de elementos químicos (cálcio, magnésio, potássio, etc.) por lixiviação.

- **TRANSPORTES:** Toda e qualquer movimentação de material no interior do próprio solo. Exemplo: argilas que migram pelos poros para camadas mais profundas do solo.
- **TRANSFORMAÇÕES:** Alterações químicas, físicas e biológicas que ocorrem nos componentes do solo. Exemplo: transformação da matéria orgânica fresca em húmus; transformação dos minerais primários (da rocha) em minerais secundários (do solo).

6. ATIVIDADE PROPOSTA

6.1. Objetivos: Esta atividade visa demonstrar que: **a)** os solos são derivados de rochas; **b)** as rochas precisam ser alteradas (intemperizadas) para que ocorra a formação do solo; **c)** rochas diferentes originam solos também diferentes.

6.2. Materiais Necessários: **a)** Amostras de rocha bem diferentes (arenito e basalto); **b)** Amostras dessas rochas já alteradas; **c)** Amostras de solos derivados dessas rochas.

6.3. Procedimentos

6.3.1. Trabalhar, inicialmente, com as amostras de rocha não alteradas, motivando os alunos para observar as seguintes diferenças: **a)** granulometria - o arenito é áspero ao tato como uma lixa e o basalto não; **b)** cor - o arenito apresenta coloração mais clara que o basalto, pois o arenito é constituído principalmente por grãos do mineral quartzo; **c)** dureza - os grãos dos minerais do arenito podem ser destacados, o que não ocorre com o basalto; **d)** peso - o basalto é mais pesado que o arenito porque contém grande quantidade de ferro na sua composição.

6.3.2. Em seguida, comparar as amostras de rochas alteradas com as não alteradas, chamando a atenção para os seguintes fatos: **a)** a alteração dessas rochas se deu pela ação da água da chuva e pelo calor, sendo um processo que leva muito tempo; **b)** facilidade de desagregação das rochas alteradas comparativamente à rocha sã; **c)** diferença na cor e na granulometria.

6.3.3. Apresentar as amostras dos solos derivados dessas rochas, salientando: **a)** Diferença na cor - o solo derivado de basalto tem cor vermelha pelo fato de ser tal rocha rica em ferro. O solo de arenito é mais claro porque tem muito pouco; **b)** Diferença na quantidade de areia e argila - umedecer as amostras com pouca água e pedir que os alunos esfreguem entre os dedos. O solo de arenito dá sensação de lixa por causa dos grãos de areia (esses grãos são do mineral quartzo). É um solo mais arenoso. O solo de basalto é argiloso (tem muita argila) e por isso gruda nos dedos. Podem ser feitas bolinhas com o solo de basalto umedecido. Com o solo de arenito não se consegue, pois tem muita areia; **c)** Utilizando amostras secas e bem destorroadas, mostrar que o solo de basalto adere a um imã (em razão da presença da magnetita, mineral magnético). Com o solo de arenito isso não acontece;

6.3.4. Finalizar levantando as seguintes questões: **a)** Qual dos dois solos - solo derivado de basalto e solo derivado de arenito - tem maior capacidade de retenção de água ? Por quê? **b)** A água retida pelo solo é importante para o desenvolvimento das plantas?

7. REFERÊNCIA

LIMA, V.C. **Fundamentos de pedologia**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2001. 343p.

CAPÍTULO 2

PERFIL DO SOLO E SEUS HORIZONTES

Valmiqui Costa Lima¹
Vander de Freitas Melo¹

1. INTRODUÇÃO

Os solos são constituídos por uma sucessão vertical de camadas horizontais resultantes da ação conjunta dos fatores e processos de formação. Essa seqüência vertical é chamada de **perfil do solo**, que é a unidade básica para seu estudo, realizado por meio da descrição (morfologia) e análise das camadas que o constituem (análises químicas, físicas e mineralógicas). A interpretação dessas análises possibilita a identificação e classificação do solo, assim como o conhecimento de suas qualidades e limitações quanto ao aspecto agrícola e ambiental.

2. PERFIL DO SOLO: HORIZONTES E NOMENCLATURA

Perfil do solo - corresponde a uma seção vertical que inicia na superfície do solo e termina na rocha, podendo ser constituído por um ou mais horizontes (Figura 1).

Horizontes do solo - são as diferentes camadas que constituem o solo, formadas pelos processos pedogenéticos (adições, perdas, transportes e transformações - ver detalhes no capítulo 1). Os horizontes e as camadas do solo são designados por letras maiúsculas - O, A, B, C e R (Figura 1).

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mails: valmiqui@ufpr.br; vanderfm@ufpr.br

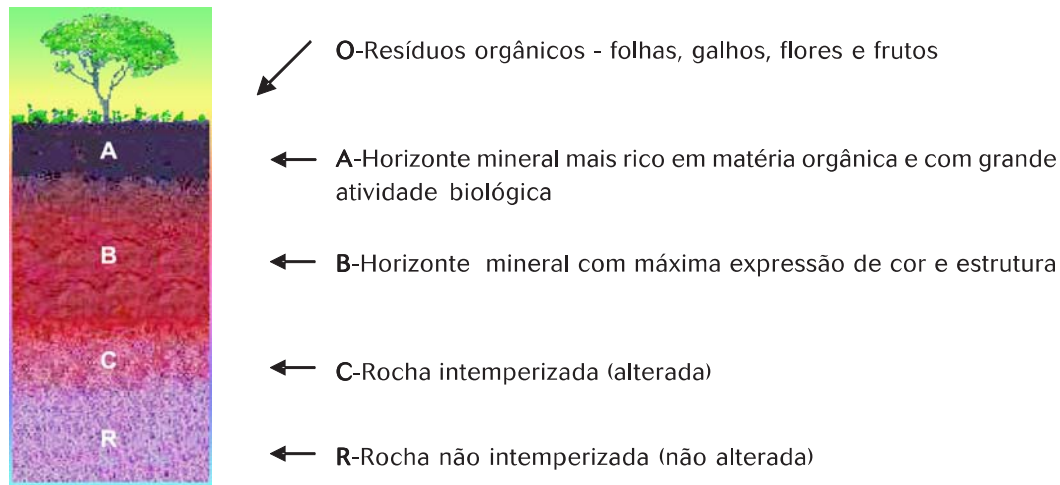


Figura 1. Representação esquemática do perfil de solo, mostrando seus principais horizontes e camadas

3. CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS HORIZONTES DO SOLO

Horizonte H - É um horizonte orgânico, normalmente encontrado em áreas com excesso de água, como os banhados ou várzeas (Figura 2). O excesso de água inibe a ação dos microrganismos aeróbios (aqueles que necessitam de O_2 para sobreviverem), limitando muito a decomposição da matéria orgânica. Então, temos a seguinte situação: estes ambientes apresentam grande produção e incorporação de matéria orgânica no solo e baixa velocidade de decomposição. Como resultado, verifica-se grande acúmulo de matéria orgânica no solo, bem como formação do horizonte H (horizonte espesso, rico em matéria orgânica e de coloração escura).



Figura 2. Exemplos de horizontes O, H, A, B, C.

Horizonte O - Também é um horizonte orgânico. É simbolizado pela letra O pelo fato de ser a primeira letra da palavra **orgânico**. Como pode ser observado na Figura 2, o horizonte O é constituído por uma manta de folhas, galhos, flores, frutos, restos e dejetos de animais, depositados sobre o horizonte A. Pode ser encontrado em solos sob mata, sendo pouco expressivo ou inexistente em regiões de vegetação de campo. Decompõe-se rapidamente, quando o solo é submetido ao cultivo. A espessura é variável, estando condicionada principalmente pelo clima e pelo tipo de vegetação.

Horizonte A - Está abaixo do horizonte O, quando este existe, caso contrário é o horizonte superficial (Figura 2). É formado pela incorporação de matéria orgânica aos constituintes minerais do solo com os quais fica intimamente misturada. O conteúdo de matéria orgânica é mais baixo, quando comparado com o dos horizontes O e H, com teores raramente superiores a 10%, sendo por isso considerado um horizonte mineral. Este horizonte tem grande importância agrícola (local onde concentra a maior parte das raízes das plantas) e ambiental (horizonte superficial que primeiro recebe os poluentes depositados sobre o solo).

Geralmente, tem coloração escura, graças à presença de matéria orgânica, a qual se encontra bastante mineralizada, ou seja, decomposta e transformada em húmus. A decomposição de raízes é a principal fonte de matéria orgânica para a formação deste horizonte.

A sua espessura é variada (Figura 3) e depende do clima e da vegetação. Em regiões de baixa precipitação, como, por exemplo, nordeste do Brasil, é pouco espesso e mais claro em decorrência da escassez de vegetação. Nos estados sulinos, onde a vegetação é mais exuberante e o clima mais frio, pode atingir mais de 1 metro de espessura. Por conter maior quantidade de material orgânico, é mais poroso, mais leve, menos duro e menos plástico e pegajoso (atributos que favorecem, por exemplo, o preparo do solo), assim como apresenta maior atividade biológica que os demais horizontes minerais de um perfil de solo.

Em muitas regiões do Brasil, o horizonte A já foi parcial ou totalmente removido por erosão, causando diminuição da qualidade agrícola e ambiental do solo, já que sua restauração aos níveis originais é praticamente impossível.

Horizonte B - Situa-se abaixo do horizonte A e sua cor é devida principalmente aos minerais de ferro da fração argila, sendo as mais comuns vermelha, amarela ou vermelho-amarela (Figuras 2 e 3). O teor de matéria orgânica, bem como a atividade biológica, é menor do que o do horizonte A. Pode apresentar variações em relação à espessura (centímetros a vários metros), fertilidade, coloração, tipo e tamanho das estruturas, mineralogia e quantidade de areia, silte ou argila.

C - Encontra-se abaixo do horizonte B. É a rocha intemperizada, podendo apresentar manchas de diversas cores (Figuras 2 e 3).

R - É a última camada do perfil e representa a rocha que ainda não foi intemperizada.

4. TIPOS DE PERFIS DE SOLOS

Considerando a grande variação nos fatores (rocha, clima, relevo, organismos e tempo) e processos (adição, remoção, transformação e translocação) responsáveis pela formação do solo (ver Capítulo 1), existem, na natureza, inúmeros tipos de perfis, os quais podem apresentar um ou mais horizontes, dependendo do seu grau de desenvolvimento. Um solo jovem, por exemplo, pode apresentar apenas o horizonte A sobre a rocha (A-R), enquanto um mais velho tem maior número de horizontes (A-B-C-R), conforme pode ser observado na Figura 3 na parte superior de cada perfil, consta o nome do solo correspondente.

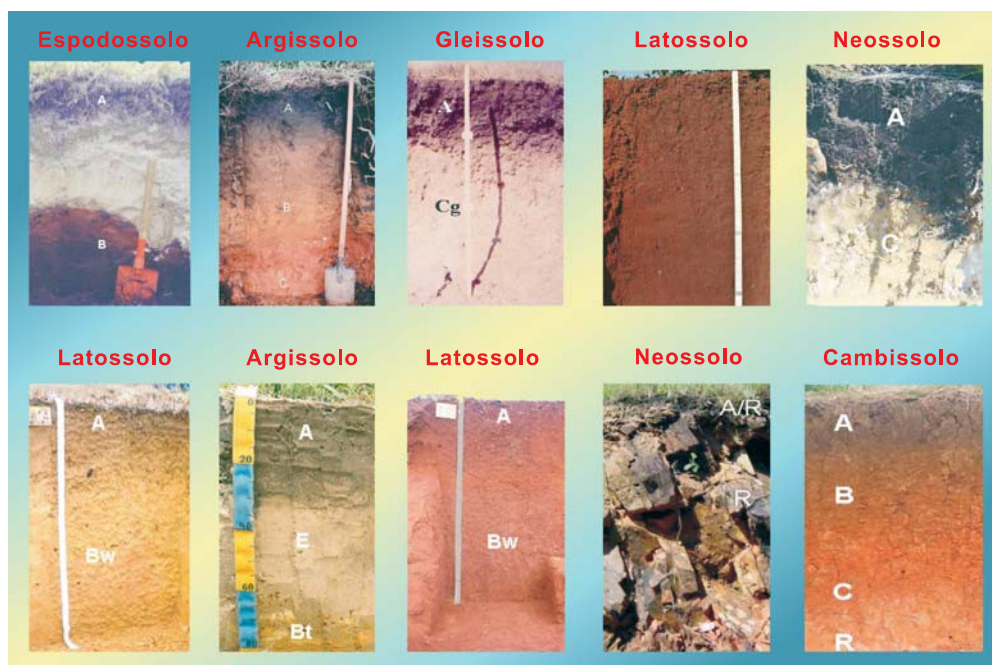


Figura 3. Alguns tipos de perfis de solos.

5. ATIVIDADE PROPOSTA - CONHECENDO OS HORIZONTES DO SOLO

Esta atividade tem por finalidade iniciar os alunos ao conhecimento do solo através do exame de um perfil.

5.1. Objetivo

Demonstrar que o solo não é uniforme em profundidade, porém formado por camadas ou horizontes, que diferem quanto à cor, espessura, teor de argila, silte e areia, tipo e tamanho das estruturas, plasticidade, pegajosidade e teor de matéria orgânica.

5.2. Vocabulário

Consultar capítulos deste livro referentes a perfil do solo, composição do solo, morfologia do solo e horizontes do solo.

5.3. Materiais Necessários

- a. Ferramenta para retirada de amostras dos diversos horizontes do solo (pazinha ou enxadinha de jardineiro, preferencialmente). Evitar a utilização de instrumentos de lâminas muito cortantes;
- b. Sacos plásticos ou qualquer outro recipiente plástico para guardar as amostras de solo (não pode ser saco de papel, porque a umidade provoca rompimento). Não utilizar recipientes de vidro, pois podem quebrar e provocar ferimentos.

5.4. Procedimentos

5.4.1. Atividades fora da sala de aula

- a. Escolher uma área, preferencialmente próxima à escola, e em local de pouco movimento de veículos, onde tenha um barranco (perfil do solo);
- b. No caso de o solo ser muito profundo, apenas os horizontes A e B poderão estar expostos, pois o C e o R estarão a maiores profundidades;
- c. No barranco (perfil do solo), cada equipe deverá ser orientada para marcar o limite de cada horizonte, fazendo um risco horizontal com uma ferramenta onde achar que ele termina;
- d. Coletar mais ou menos 500 g de solo de cada horizonte e colocar em um recipiente etiquetado (pode ser saquinho plástico) com a letra que simboliza o horizonte (A, B, C, R).

5.4.2. Atividade a ser desenvolvida em laboratório (caso exista), na sala de aula ou no pátio da escola

Colocar as amostras de cada horizonte sobre folhas de jornal e orientar os alunos para raciocinar sobre as seguintes questões:

- a) Porque o horizonte A é mais escuro?
- b) Qual o elemento químico que a matéria orgânica contém que escurece o solo? Seria o mesmo elemento químico da grafite do lápis preto?
- c) De onde veio essa matéria orgânica?
- d) Qual horizonte apresenta maior número de raízes?
- e) A cor vermelha ou vermelho-amarela do horizonte B é devida à presença de minerais constituídos de qual elemento químico?
- f) A vegetação que está cobrindo o solo retira água de onde?

- g) Essa vegetação sobrevive unicamente de água ou precisa de outros elementos?
- h) Quais são esses elementos e de onde eles vêm?
- i) Quando nos alimentamos das plantas, esses elementos passam para o nosso corpo?

5.4.3. Montagem de um perfil de solo

Alternativa 1: Cortar a parte superior de garrafa PET e colocar as amostras dos horizontes (A, B, C) conforme estavam dispostas verticalmente no perfil do solo, identificando cada horizonte na parede externa da garrafa com etiqueta adesiva ou pincel atômico;

Alternativa 2: Misturar uma porção de amostra de cada horizonte com cola branca e colar em papelão, na mesma posição que estava no perfil. Ao lado, escrever a letra que identifica o horizonte (A,B,C).

5.4.4. Experiência com plantas

- a. Colocar amostras dos horizontes A e B bem destorroadas em vasos distintos e etiquetá-los com a letra correspondente a cada horizonte;
- b. Colocar 3 sementes de milho ou feijão em cada vaso a mais ou menos 1 cm de profundidade e cobrir com solo;
- c. Regar diariamente com quantidade de água suficiente apenas para deixar o solo úmido;
- d. Observar o desenvolvimento da plantinha. Em qual horizonte ela se desenvolve melhor e por quê? Qual a conclusão?

6. REFERÊNCIA

LIMA, V.C. **Fundamentos de pedologia**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2001. 343p.

CAPÍTULO 3

NOÇÕES DE MORFOLOGIA DO SOLO

Marcelo Ricardo de Lima¹

1. INTRODUÇÃO

Morfologia do solo significa o estudo e a descrição da sua aparência no meio ambiente natural, segundo as características visíveis a olho nu, ou perceptíveis.

Do ponto de vista prático, o aluno poderá observar a morfologia do solo através dos sentidos do tato e da visão. Os sentidos do olfato e audição também poderiam ser utilizados para fins da análise morfológica do solo, embora não seja usual. Por exemplo, um solo arenoso apresenta som diferenciado de um solo argiloso ao ser esfregado entre os dedos.

Os principais atributos observados na descrição morfológica são: cor, consistência, textura e estrutura. Todas as características morfológicas observadas em campo no perfil do solo são de fundamental importância para a caracterização do solo, juntamente com as análises químicas, físicas, e mineralógicas, executadas em laboratório.

Ao analisar os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) aparentemente não há um ciclo específico no qual deva ser trabalhado este conteúdo. A morfologia deve ser encarada pelo professor como uma ferramenta didática que pode ser útil desde as mais elementares observações do primeiro e segundo ciclo do ensino fundamental (BRASIL, 1997), até estudos mais aprofundados no terceiro e quarto ciclo (BRASIL, 1998). No ensino médio, por seu aspecto prático, a morfologia pode ser uma ferramenta para estimular a discussão de conceitos químicos, físicos e biológicos relacionados com solos.

Antes de iniciar o estudo morfológico, pode-se pedir para os alunos desenharem o solo em uma folha de papel. Esta atividade simples (que pode ser utilizada do ensino fundamental ao superior) permite observar as impressões que os alunos têm sobre o solo, e as eventuais confusões de conceitos existentes.

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mail: mrlima@ufpr.br

2. COR DO SOLO

A cor é considerada, por muitos pedólogos (profissionais que estudam o solo), uma das propriedades morfológicas mais importantes. Os solos podem apresentar cores variadas, tais como: preto, vermelho, amarelo, acinzentado, etc. Essa variação irá depender não só do material de origem, mas também de sua posição na paisagem, conteúdo de matéria orgânica e mineralogia, dentre outros fatores.

Uma análise superficial poderia considerar que a cor do solo apresenta pouca relevância do ponto de vista prático. As plantas, de modo geral, não terão seu desenvolvimento afetado exclusivamente pela cor do solo, embora os solos mais escuros possam se aquecer mais rapidamente, favorecendo o desenvolvimento das raízes em regiões mais frias.

A cor tem grande importância no momento de diferenciar os horizontes dentro de um perfil e auxiliar a classificação dos solos.

Para a determinação das cores em campo, o método mais empregado pelos pedólogos é a comparação de uma amostra de solo com a referência padronizada, que é a carta de cores de Munsell (Figura 1).

2.1. Efeito da Matéria Orgânica na Cor do Solo

Quanto mais material orgânico, mais escuro é o solo (Figura 2), o que pode indicar boas condições de fertilidade e grande atividade microbiana. Porém, excessiva quantidade de matéria orgânica pode indicar condições desfavoráveis à decomposição da mesma, como temperatura muito baixa, baixa disponibilidade de nutrientes, falta de oxigênio e outros fatores que inibam a atividade dos microrganismos do solo.

Deve-se evitar o senso comum de que todo solo escuro (popularmente conhecido como “terra preta”) é fértil. Muitos solos escuros apresentam fertilidade natural muito baixa. Também deve ser evitada a idéia de que todo solo escuro é orgânico. O horizonte A do solo (ver o capítulo sobre perfil do solo) é escuro, porém predominam os minerais.

Ao se observar um solo, o aluno deve ser estimulado a perceber que a parte superior do solo (horizonte A) normalmente é mais escura. Este horizonte é o que mais recebe matéria orgânica fresca, proveniente dos animais e vegetais que estão no interior ou sobre o solo. Os demais horizontes minerais do solo também apresentam matéria orgânica, porém em menor proporção. Por este motivo, os horizontes B e C normalmente são mais claros que o horizonte A.

2.2. Efeito dos Minerais na Cor do Solo

As diferenças entre as cores mais avermelhadas ou amareladas dos solos estão frequentemente associadas aos diferentes tipos de óxidos de ferro (ver capítulo sobre composição do solo) existentes nos solos.

Solos de coloração vermelha (Figura 3) podem indicar grande quantidade de óxidos de ferro (hematita). Um exemplo são os solos popularmente conhecidos como “terra roxa” (na verdade seria “rosso”, do italiano vermelho), de coloração vermelho-escura, que são solos originados de rochas ígneas básicas (principalmente basalto), e são comuns em áreas do norte do Rio Grande do Sul ao sul de Goiás.

Solos com elevada quantidade de quartzo na fração mineral (como ocorre em muitos solos arenosos) são frequentemente claros, exceto se houver elevada presença de matéria orgânica.

2.3. Efeito do Excesso de Água na Cor do Solo

Um solo bem drenado é um solo no qual a água não tem dificuldade para infiltrar. No entanto, nos solos mal drenados (com excesso de água), um ou mais horizontes do solo podem ficar com cor acinzentada (Figura 4). Esta cor indica que o ferro foi lavado (perdido para o lençol freático), devido às condições de redução (ausência de oxigênio), perdendo, assim a coloração vermelha ou amarela típica dos solos bem drenados. A cor branca a acinzentada é consequência da presença de minerais silicatados (ver capítulo sobre composição do solo) existentes na fração argila do solo.

Os alunos podem observar a presença de solos acinzentados em áreas de várzeas existentes na região. Em zonas urbanas, muitas vezes os loteamentos, localizados em fundos de vale, apresentam esta coloração no solo, indicado que era originalmente uma área mal drenada (banhado).

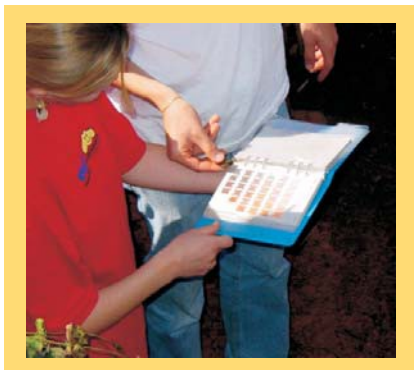


Figura 1. Determinação da cor do solo com a carta de Munsell.



Figura 2. Solo que apresenta coloração mais escura, devido à presença de Matéria Orgânica.



Figura 3. Solo com coloração avermelhada, devido à presença dos óxidos de ferro.



Figura 4. Solo com coloração cinza, devido ao excesso de água.

3. CONSISTÊNCIA DO SOLO

Entende-se por consistência a influência que as forças de coesão e de adesão exercem sobre os constituintes do solo, de acordo com seus variáveis estados de umidade. A força de **coesão** refere-se à atração de partículas sólidas por partículas sólidas. A força de **adesão** refere-se à atração das moléculas de água pela superfície das partículas sólidas.

Aspectos práticos da consistência, que são facilmente observados pelos alunos, são a dureza que certos solos apresentam quando secos, ou a pegajosidade que alguns apresentam quando molhados. A consistência pode variar ao longo do perfil do solo, nos seus diferentes horizontes.

3.1. Consistência do Solo Seco (Dureza)

A expressão da consistência quando o solo está seco (**dureza**) é a resistência à ruptura dos torrões. Para determinar a dureza, pega-se um torrão de solo seco, a fim de tentar quebrá-lo com os dedos, ou, se não for possível, com a(s) mão(s). A consistência do solo seco varia de solta até extremamente dura (SANTOS et al., 2005). Uma amostra de um solo extremamente duro não pode ser quebrada mesmo utilizando ambas as mãos. Em um solo extremamente duro, é difícil a penetração das raízes das plantas, o preparo do solo para o cultivo pelo produtor rural, a escavação de poços ou fundações de casas.

3.2. Consistência do Solo Úmido (Friabilidade)

É também determinada a partir de um torrão de solo, mas este deve estar ligeiramente úmido (não molhado). Tenta-se romper o torrão úmido com os dedos (ou, se necessário, com a mão), para verificar a resistência à pressão. Este estado de consistência é conhecido como **friabilidade** e pode variar de solta a extremamente firme (SANTOS et al., 2005). Empiricamente, os produtores rurais normalmente preferem preparar o solo neste estado de consistência, pois o solo oferece menor resistência, tendo em vista que as forças de coesão e adesão são menores. O aluno poderá observar que a força utilizada para romper um torrão úmido é menor do que se ele estivesse seco, pois diminuem as forças de coesão entre as partículas de solo.

3.3. Consistência do Solo Molhado

É caracterizada pela plasticidade e pegajosidade, sendo determinada em amostras de solo molhadas.

A **plasticidade** é observada quando o material do solo, no estado molhado, ao ser manipulado, pode ser modelado constituindo diferentes formas (por exemplo, moldar e dobrar um fio com 3 a 4 mm). A plasticidade varia de não-plástica até muito plástica (SANTOS et al., 2005). A plasticidade do solo é uma propriedade muito utilizada pelos professores de artes, mas é útil ao engenheiro civil, ao artesão e ao agricultor.

A **pegajosidade** refere-se à aderência do solo a outros objetos, quando molhado. Para determinar a pegajosidade, uma amostra de solo é molhada e comprimida entre o indicador e o polegar, estimando-se a sua aderência. A pegajosidade varia de não-pegajosa (não

gruda nos dedos) até muito pegajosa (SANTOS et al., 2005). Este é um atributo muito importante, pois um solo muito pegajoso é difícil de ser trabalhado para diversas finalidades, como construção de um aterro por um engenheiro civil, ou o cultivo por um produtor rural. Um equívoco comum, oriundo do senso comum, é achar que todo solo argiloso é muito pegajoso e extremamente duro, o que nem sempre ocorre.

4. TEXTURA DO SOLO

As classes de tamanho das partículas individuais do solo, ou seja, as **frações granulométricas** (Quadro 1), são classificadas conforme o diâmetro. A composição granulométrica do solo é obtida a partir da análise granulométrica (realizada por laboratórios de solos), a qual permite classificar os componentes sólidos do solo em classes (matacão, calhau, cascalho, areia, silte, argila) de acordo com seus diâmetros.

Quadro 1. Frações granulométricas do solo

FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA	DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS INDIVIDUAIS DO SOLO
Matacão	Maiores que 20 cm
Calhau	Entre 2 e 20 cm
Cascalho	Entre 2 mm e 2 cm
Areia	Entre 0,05 e 2 mm
Silte (ou “limo”)	Entre 0,002 e 0,05 mm
Argila	Menores que 0,002 mm

O professor deve estar atento para os alunos não confundirem as frações granulométricas do solo com as estruturas do solo (ver o item 5 deste capítulo). Quando o aluno observa um “torrão” de solo, ele não está observando uma partícula individual de solo, mas uma estrutura composta por partículas de diferentes diâmetros e composições mineralógicas.

Normalmente, os alunos não têm dificuldade em compreender o que é uma partícula de areia. No entanto, um erro comum é achar que a areia é sempre formada por quartzo, ou que seja sempre clara, o que não é verdadeiro. Qualquer partícula individual sólida do solo com diâmetro entre 0,05 e 2 mm é considerada areia. Em regiões do planeta, com atividade vulcânica recente, por exemplo, a areia encontrada nos solos é freqüentemente escura.

Os alunos usualmente apresentam maior dificuldade em compreender o que é a argila, pois é uma partícula de tamanho muito pequeno (menor que 0,002 mm), e que não é visível a olho nu. É comum as pessoas associarem a argila somente ao “barro” utilizado em modelagem, o qual é uma amostra de um solo argiloso, cuja argila é acinzentada ou branca e com elevada pegajosidade. No entanto, os solos argilosos têm diferentes colorações e podem ter variáveis durezas, pegajosidades e plasticidades, conforme a composição de minerais e matéria orgânica (ver o capítulo sobre composição do solo).

A **textura do solo** refere-se à proporção relativa das frações areia, silte, e argila em um solo. Com base nas proporções entre areia, silte e argila, são definidos os grupamentos texturais (Quadro 2).

Quadro 2. Grupamentos texturais do solo (Adaptado de Embrapa, 1999)

GRUPAMENTO TEXTURAL	DEFINIÇÃO
Muito argilosa	Solos com mais de 60% de argila
Argilosa	Solos com 35 a 60% de argila
Siltosa (ou “limosa”)	Solos com argila < 35% e areia < 15%
Média (ou “franca”)	Solos com menos de 35% de argila, mais de 15% de areia, e que não sejam de textura arenosa
Arenosa	Solos com areia $\geq$ 70% e sem argila; ou areia $\geq$ 75% e argila < 5%; ou areia $\geq$ 80% e argila < 10%; ou areia $\geq$ 85% e argila < 15%

Um solo muito argiloso, por exemplo, é um solo que apresenta mais de 60% de partículas com tamanho argila (menores que 0,002 mm). As frações areia e silte são responsáveis pela proporção restante.

Deve ser considerado que a textura refere-se unicamente à proporção entre os tamanhos de partículas (areia, silte e argila) existentes no solo, e o comportamento físico e químico também depende da composição mineralógica e conteúdo de matéria orgânica.

O professor deve estar atento ao fato de os alunos erroneamente acharem que a textura (proporção entre as partículas de areia, silte e argila) é sinônimo de consistência (dureza, friabilidade, pegajosidade, plasticidade) de um solo. Embora alguns solos argilosos sejam muito duros e muito pegajosos, esta não é uma regra.

Existem algumas propriedades predominantes nos solos conforme a textura. Solos de textura fina (ou seja, argilosa ou muito argilosa), terão, de modo geral, propriedades como: capacidade de retenção de água elevada; propriedades químicas mais favoráveis que os solos arenosos; maior porosidade total (ver o item 6 deste capítulo). Os solos argilosos de regiões tropicais e subtropicais (devido a sua mineralogia) apresentam, em sua maioria, boa estrutura (ver o item 5 deste capítulo) e, portanto, não apresentam problemas físicos, como dificuldade de aeração ou de circulação de água. No entanto, se os solos argilosos não forem bem estruturados, poderão apresentar circulação de água difícil e aeração deficiente. Solos de textura grosseira (mais arenosa) tenderão a apresentar propriedades opostas às descritas para os solos argilosos.

A textura do solo irá influir diretamente na escolha da cultura a ser plantada e nos equipamentos que serão utilizados para o seu manejo. A textura também é muito importante para a engenharia civil.

5. ESTRUTURA DO SOLO

O conjunto de agregados do solo (que popularmente poderia ser chamado de “torrões do solo”), em seu estado natural, forma a estrutura do solo. Estes agregados possuem tamanho e formato variados e nada mais são que o agrupamento das partículas primárias, ou seja, areia, silte, argila e outros componentes como a matéria orgânica. Estes grupamentos formam as partículas secundárias ou agregados.

Os **tipos de estrutura** do solo (Figura 5) são as formas que as estruturas assumem no solo. São quatro os principais tipos de estrutura do solo: a) em forma de esferóide: granular; grumosa (este tipo de estrutura normalmente favorece a ocorrência de muitos poros, sendo mais comum no horizonte A); b) em forma de bloco (é muito comum no horizonte B); c) em forma de prisma: prismático e colunar; d) em forma de placa: laminar.

O professor pode fazer uma analogia entre a estrutura do solo e a estrutura de uma casa. A casa é construída com diferentes materiais (tijolos, areia, cimento, etc.) que formam uma estrutura e deixam espaços vazios (quartos, sala, cozinha, etc.). No solo, ocorre um processo semelhante, visto que as partículas do solo (areia, silte, argila) formam uma estrutura (granular, blocos, prismática, laminar), que permite a existência de espaços vazios (poros do solo), nos quais se encontra a fração líquida do solo (solução do solo) e a fração gasosa do solo (ar do solo) (ver o capítulo sobre composição do solo).

Quando há estrutura, as partículas individuais (areia, silte, argila) estão unidas, dificultando a perda do solo pela erosão hídrica ou eólica (ver o capítulo sobre conservação do solo).

6. POROSIDADE DO SOLO

Muitas vezes, o aluno pode imaginar que o solo é um meio maciço, como uma rocha, porém é um meio extremamente poroso. Pode ser feita uma analogia entre o solo e uma esponja utilizada na cozinha. Como tem poros, o solo pode absorver água, assim como ocorre na esponja. A porosidade pode ser definida como o volume de solo ocupado pela fase líquida e pela fase gasosa do solo.

Do ponto de vista morfológico, é possível apenas observar os maiores poros em uma amostra de solo (torrão), preferencialmente com o auxílio de uma lupa (Figura 6). No entanto, a maior parte dos poros do solo não são visíveis a olho nu.

A porosidade dos solos é importante para o armazenamento e movimento da solução do solo (fase líquida) e do ar do solo (fase gasosa) e para o desenvolvimento das raízes das plantas. Deve ser claramente indicado aos alunos que as raízes crescem ocupando o espaço poroso do solo, e não “comendo” a fração sólida (minerais e matéria orgânica).

A porosidade do solo é fator importante na aeração, garantindo um fluxo de entrada de oxigênio e saída do gás carbônico e outros gases produzidos pelas raízes e microrganismos.

Em solos alagados, praticamente todos os poros são ocupados pela água, e em solos completamente secos, os poros são ocupados pelo ar.

A compactação dos solos (ver capítulo sobre conservação do solo) apresenta, como efeito direto, a redução dos poros, principalmente daqueles maiores, responsáveis pela infiltração de água e penetração de oxigênio. A compactação pode ser causada pelo tráfego de máquinas e animais sobre o solo. Um exemplo típico de compactação são as

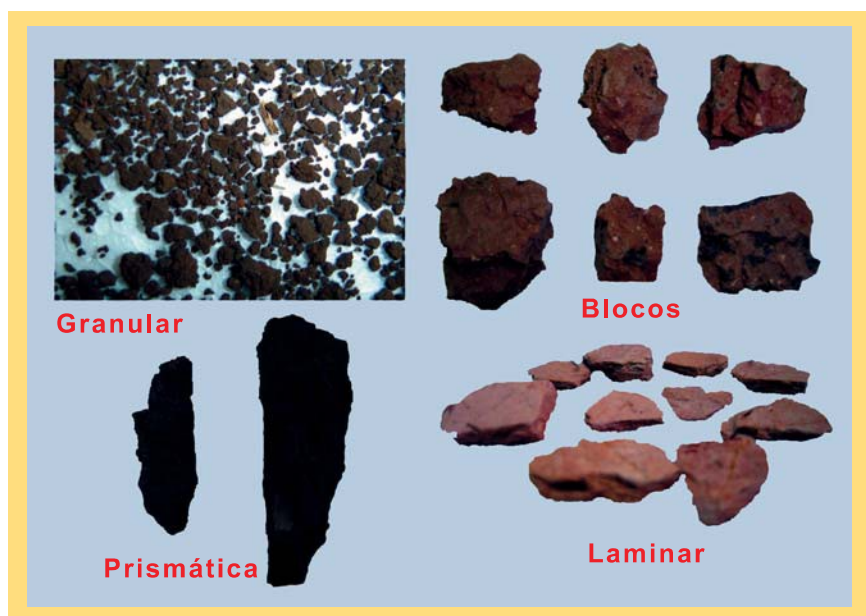


Figura 5. Tipos de Estrutura do Solo.



Figura 6. Poros visíveis no solo.

ruas de terra (urbanas ou rurais), as quais apresentam elevada compactação, não permitindo a infiltração da água da chuva e favorecendo o escoamento. É muito comum, em uma rua de terra, ser observada a presença de erosão em suas laterais. Nas cidades, é comum os solos estarem impermeabilizados (por asfalto ou concreto), impedindo a infiltração da água, favorecendo o escoamento e, conseqüentemente, as enchentes.

7. ATIVIDADES PROPOSTAS

Além das atividades descritas neste livro, o professor também pode visualizar algumas atividades sobre morfologia do solo, acessando a experimentoteca de solos do Projeto Solo na Escola, no endereço da Internet: www.escola.agrarias.ufpr.br.

7.1. Cor do Solo

Em sala de aula, o professor raramente terá a oportunidade de utilizar a carta de cores de Munsell (Figura 1). No entanto, isto não impede que os alunos possam observar as cores de diferentes solos. Os próprios alunos podem trazer amostras de diferentes solos (e horizontes destes solos) que existam próximo de suas casas. Mesmo aqueles que moram em apartamentos devem procurar o solo no jardim do edifício ou em parques e praças na imediação de sua residência. O professor deve incentivar os alunos a procurar diferentes cores, para evitar que todos tragam somente amostras de horizonte A (normalmente escura). Com estas amostras os alunos podem formar uma **colorteca** (coleção de cores de solos). O professor pode discutir com os estudantes a razão da existência das diferentes cores encontradas (veja o item 2 deste capítulo).

7.2. Textura do Solo

A avaliação expedita dos grupamentos texturais de uma amostra de solo é feita pela sensação que uma porção de solo oferece ao tato, após umedecida e trabalhada entre os dedos. O professor pode trazer amostras de solo com diferentes texturas para a sala de aula. Os alunos podem manusear amostras umedecidas entre os dedos (Figura 7) e sentir a sensação ao tato. O solo arenoso é mais áspero ao tato e com partículas maiores, e, além disto, produz mais barulho ao ser esfregado entre os dedos próximo ao ouvido. O solo argiloso apresenta partículas menores (é bem fino) e, usualmente, é mais pegajoso ao tato. O solo de textura siltosa apresenta sensação semelhante à do talco.

7.3. Consistência do Solo

Para trabalhar a consistência em sala de aula, o professor poderia utilizar solos com diferentes consistências. Por exemplo: uma amostra de um solo muito duro, quando seco, e muito pegajoso, quando molhado, e de um solo muito solto, quando seco, e não-pegajoso, quando molhado. As amostras de solo seriam trazidas secas pelo professor (basta secar sobre uma folha de jornal), ou pelos próprios alunos (cada equipe poderia ser responsável por trazer um solo diferente). Os estudantes poderiam manusear o solo nos diferentes graus de umidade: seco (analisando a dureza) e molhado (analisando a pegajosidade e a plasticidade). Ao ser molhado e amassado, o solo não-pegajoso não gruda nos dedos, o solo ligeiramente pegajoso gruda em um dos dedos, e o solo pegajoso gruda em ambos os dedos, quando molhado (Figura 8). Quando molhado e amassado, o solo não-plástico não permite formar um fio de 3 a 4 mm de diâmetro, o ligeiramente plástico permite fazer o fio, mas este quebra ao dobrar, e o solo plástico permite fazer e dobrar o fio sem quebrar (Figura 9). Esta atividade também poderia ser desenvolvida em parceria com o professor da área de artes, o qual, além da plasticidade, também poderia trabalhar a cor do solo.

Determinação do grupamento textural do solo úmido com o tato

26

Marcelo Ricardo de Lima



Figura 7. Determinação do grupamento textural do solo úmido com o tato.

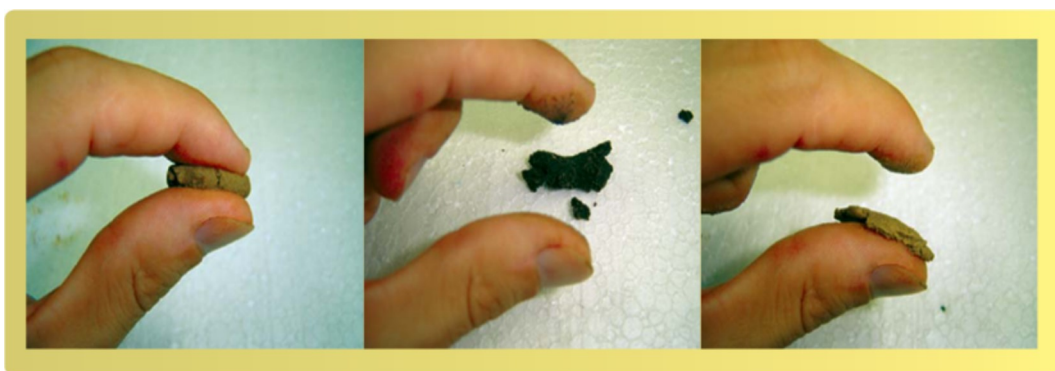


Figura 8. Determinação da pegajosidade solo molhado (esquerda), mostrando um solo não-pegajoso (centro) e um solo ligeiramente pegajoso (direita).

Figura 9. Determinação da plasticidade com o solo molhado, mostrando solo não-plástico (esquerda), ligeiramente plástico (centro) e plástico (direita).



8. REFERÊNCIAS

- BRASIL. Secretaria Nacional de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais: ciências naturais**. Brasília: MEC/SEF, 1997. 136p.
- BRASIL. Secretaria Nacional de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais: ciências naturais**. Brasília: MEC/SEF, 1998. 138p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 92p.

CAPÍTULO 4

COMPOSIÇÃO DO SOLO, CRESCIMENTO DE PLANTAS E POLUIÇÃO AMBIENTAL

Vander de Freitas Melo¹

Valmiqui Costa Lima¹

1. INTRODUÇÃO

O solo é composto por matéria mineral, matéria orgânica, água e ar.

Vamos começar com a seguinte pergunta: Quais as principais diferenças entre o solo e uma rocha, por exemplo, um granito? 1) Ao contrário do solo, o granito não apresenta argila. A presença da argila é facilmente percebida, quando o solo gruda na sola do sapato ao caminharmos em rua sem pavimentação após uma chuva (solo úmido). Já um monte de pedra brita, produzida pela moagem do granito, não apresenta argila, portanto, quando molhados, os fragmentos da rocha não grudam em nossa mão. 2) No interior da rocha não existe vida, enquanto que o solo é um ambiente que abriga uma diversidade enorme de organismos. Após a morte e decomposição dos restos vegetais e animais, forma-se o húmus (matéria orgânica), que confere a coloração escura à camada superficial do solo. 3) O granito é compacto (duro) e o solo apresenta espaços vazios ou poros. Graças aos poros, a água da chuva penetra facilmente no solo.

Portanto, além da sua areia, argila e matéria orgânica (fase sólida), o solo apresenta canais ou poros, importantes para armazenar água para as plantas e organismos, para permitir a drenagem do excesso de água da chuva (manutenção do nível freático), evitar a erosão e facilitar o crescimento das raízes. A vida (incluindo a dos seres humanos) só é possível graças à existência dos componentes do solo, visto que o equilíbrio de suas partes (areia, silte, argila, matéria orgânica, ar, água e nutrientes) garante o crescimento adequado das plantas (alimento da grande maioria dos animais) e demais organismos do solo, o que não ocorre, por exemplo, sobre um bloco de granito exposto na superfície da Terra. A composição do solo também interfere diretamente em outros aspectos do nosso cotidiano, como, por exemplo: 1) a definição das fundações das construções consideram,

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mails: vanderfm@ufpr.br; valmiqui@ufpr.br

principalmente, a quantidade e a qualidade dos componentes da fase sólida do solo; 2) as enchentes nos grandes centros urbanos são decorrentes da baixa infiltração da água da chuva no solo; 3) o solo, com seus componentes, é um dos principais elementos do meio ambiente. A água da chuva, em condições ideais, passa necessariamente pelo perfil do solo para alimentar o lençol freático, os rios e os lagos.

2. INTERAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES CONSTITUINTES DO SOLO

Já sabemos que o solo é constituído por água, ar, minerais e matéria orgânica (Figura 1). Estes componentes enquadram-se em três fases distintas:

- A) fase sólida: matéria orgânica e material mineral do solo;
- B) fase gasosa: ar do solo (ocupa os poros do solo);
- C) fase líquida: água do solo (ocupa do poros do solo).

Os percentuais relativos a cada fase são muito variáveis de acordo com as condições climáticas, que determinam principalmente o teor de umidade, textura (proporção de areia, silte e argila), grau de desenvolvimento do solo, ou mesmo a forma de preparo e utilização do solo. A fase porosa, na qual se encontram o ar e a água, depende diretamente do arranjo estrutural do solo (Figuras 2 e 3), ou seja, do arranjo dos constituintes sólidos. A matéria orgânica e os minerais nos horizontes A e B encontram-se agrupados, formando agregados do solo (Figuras 2 e 3).

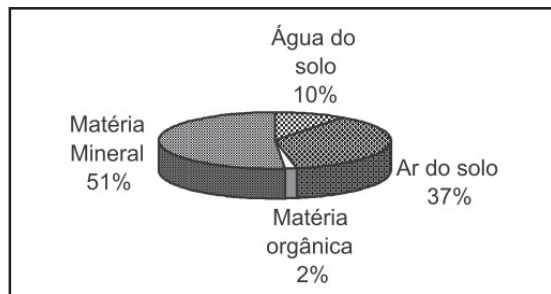


Figura 1. Composição volumétrica de um solo de textura média (35% a 60% de argila).

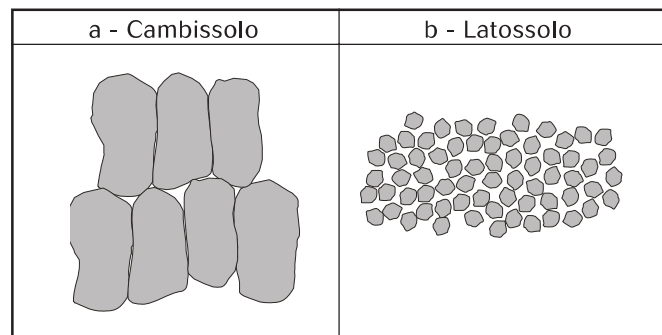


Figura 2. Representação esquemática (apenas duas dimensões) dos principais tipos de estrutura (agregados) do solo (a - estrutura em blocos - normalmente com tamanho entre 0,5 e 3 cm; b - estrutura granular - normalmente com tamanho entre 1 e 5 mm).

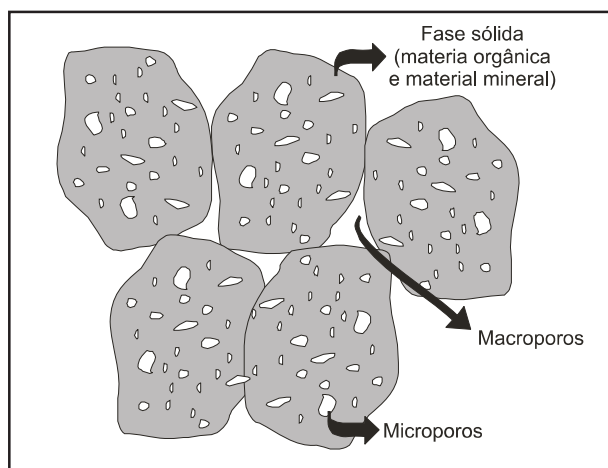


Figura 3. Representação esquemática (apenas duas dimensões) da estrutura granular (Latossolo) mostrando a relação entre a fase sólida e poros (macro e micro) no solo.

Vamos considerar dois tipos de estrutura do horizonte B de dois tipos de solo: um solo jovem (por exemplo, Cambissolo) e outro velho (por exemplo, Latossolo). No solo jovem, normalmente, os agregados apresentam a forma de blocos, sendo estruturas maiores (0,5 a 3 cm) (Figura 2). Já no Latossolo, verifica-se a tendência de os agregados apresentarem a forma granular ou esférica, com menor tamanho ("bolinhas" com 1 a 5 mm de diâmetro) (Figura 2). Os horizontes A e B do solo são constituídos pelo conjunto destes agregados, que se ajustam uns aos outros. Como comparação, vamos considerar um muro de alvenaria, onde os tijolos seriam os agregados. É fácil perceber que o contato entre os agregados granulares é menor (Figura 2), pois duas esferas se tocam em apenas um ponto. Como resultado, tem-se um espaço poroso muito maior entre os agregados no solo velho. Já em um solo jovem, o ajuste entre os agregados em blocos é maior, deixando menos espaço poroso entre as estruturas (Figura 2).

Conforme pode ser observado na Figura 3, entre as partículas de matéria orgânica e minerais (fase sólida) (Figura 3). Para verificar a ocorrência de poros dentro dos agregados, basta pingar um pouco de água sobre um torrão de solo seco e observar que a água penetra rapidamente em seu interior. Estes poros apresentam diâmetro menor (microporos) e, normalmente, não visíveis a olho nu, ao contrário dos poros de maior tamanho formados entre os agregados (macroporos). Por definição, microporos são aqueles com diâmetro menor que 0,05 mm.

Ampliando um agregado, pode-se visualizar toda a organização das fases do solo (Figura 3). A matéria orgânica e a mineral estão intimamente agrupadas formando os agregados, enquanto a água e o ar do solo competem pelo espaço poroso, existente entre e dentro dos agregados (macro e microporos, respectivamente).

3. ESPAÇO POROSO DO SOLO: ÁGUA E AR

Após uma chuva intensa, todos os poros do solo (macro e micro) estarão ocupados por água (solo encharcado). Depois de algumas horas, a água presente nos macroporos

será drenada, ou seja, será levada para o lençol freático. Isto ocorre porque a força da gravidade é maior do que a força com que esta água é retida pelo solo, fazendo com que a água seja "puxada" para baixo. Por outro lado, a gravidade não consegue retirar a água contida nos microporos, fazendo com que ela fique disponível para as plantas e demais organismos do solo. A condição considerada ideal para as plantas e demais organismos é quando o solo apresenta o máximo de umidade que ele pode reter (todos os microporos ocupados por água) e a presença de oxigênio (ar) nos macroporos garante a respiração do sistema radicular.

Com a absorção de água pelas plantas, e a perda decorrente do processo de evaporação pela superfície do solo, a água vai saindo dos microporos e o solo fica gradativamente com menor teor de umidade. Desta forma, o ar também vai ocupando o espaço dos microporos, pois é só lembrar que a água e o ar do solo competem pelo mesmo espaço poroso. O solo representado na Figura 1 está com baixo teor de umidade, prevalecendo a presença de ar, tanto nos macro como nos microporos, pois do total de espaço poroso do solo (47% do volume), apenas 10% está ocupado por água (presente apenas em pequena parte dos microporos).

Quando o solo fica muito seco, temos de contar com uma nova chuva ou repor a água através da irrigação para novamente encher os microporos com água e evitar a morte das plantas por desidratação. Por outro lado, o ar também é importante para as plantas. Caso não haja oxigênio no solo, causado por exemplo por excesso de água, verifica-se a morte das células do sistema radicular das plantas (apodrecimento das raízes).

Além de permitir a presença de ar no solo, os macroporos são extremamente importantes para reduzir a erosão do solo, pois é através deles que o excesso de água da chuva será perdido para o lençol freático (drenagem). Em um solo com pouco volume de macroporos, a drenagem será deficiente, o que pode resultar no escoamento do excesso de água na superfície do solo, ou seja, a água que não conseguir infiltrar através dos macroporos poderá arrastar as partículas sólidas (matéria orgânica e mineral) na enxurrada. Analisando a distribuição dos poros no solo jovem e velho (Figura 2), é perceptível que o solo com estrutura granular apresenta maior volume total de macroporos e, portanto, será menos susceptível à erosão.

Segundo KIEHL (1985), cerca de 30 a 70% da água das chuvas penetra no solo e o restante escorre pela superfície. É possível afirmar, portanto, que, em média, 50% das águas das chuvas que atingem o solo são perdidas e 50% podem ser armazenadas nos microporos ou deslocar-se para as camadas mais profundas (através dos macroporos), indo formar o lençol freático que dará origem às nascentes dos rios.

Outro fator que reduz a macroporosidade do solo e aumenta o risco de erosão é a utilização inadequada do solo. O preparo freqüente (arações e gradagens) para o plantio e o trânsito de máquinas agrícolas durante o cultivo podem resultar na compactação do solo, que nada mais é que a redução do espaço poroso, principalmente, o volume de macroporos. Na Figura 4, pode-se verificar a redução dos macroporos de acordo com o plantio e manejo da cultura da cana-de-açúcar. O que se apresenta na foto é uma ampliação da situação de campo. A comparação entre o mesmo solo sob mata (natural) e cultivado por cana-de-açúcar torna evidente a redução de macroporos (espaços em branco) na camada mais superficial do solo (0 e 20 cm) (Figura 4). Para ficar mais fácil o entendimento do efeito do

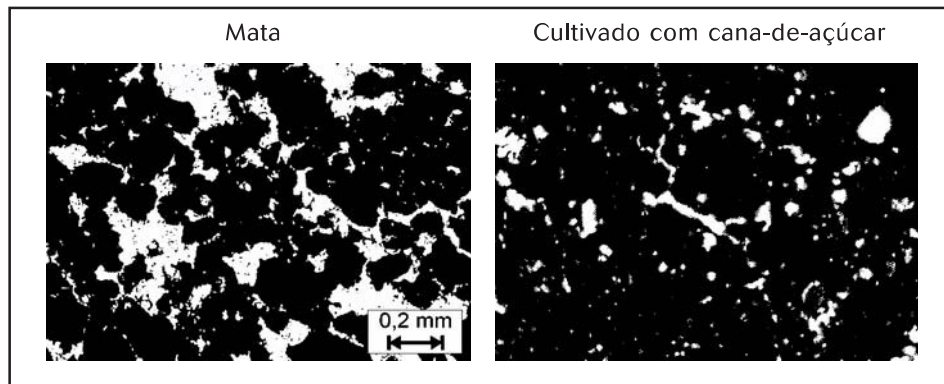


Figura 4. Fotos em microscópio óptico (aumento de 10x), mostrando a distribuição dos poros na camada de 0 e 20 cm de acordo com diferentes tipos de uso do solo (os poros são apresentados em branco).

uso do solo na compactação, basta imaginar um torrão de solo retirado da mata e por meio de pressão desta amostra entre as mãos promove-se uma redução dos poros do solo. O resultado final da compactação poderá ser maior erosão do solo e dificuldade das raízes em penetrar pela redução dos macroporos.

4. FASE SÓLIDA

4.1. Material Mineral

Dentro da fase sólida, a porção mineral é constituída por fragmentos de rocha e minerais, com formas e tamanhos variáveis. Os fragmentos de rocha são pedaços grosseiros do material de origem (maior que 2 mm de diâmetro). Os minerais que determinam as características físico-químicas, e ditam o comportamento do solo apresentam tamanho menor que 2 mm, porção do solo denominado terra fina (Figura 5).

Já na terra fina, os minerais são classificados em frações de acordo com o seu tamanho: fração areia - minerais mais grosseiros (0,005 e 2 mm); fração silte - minerais intermediários (0,002 e 0,05 mm) e fração argila - minerais extremamente pequenos (diâmetro menor que 0,002 mm), visíveis somente em microscópio eletrônico de transmissão. Para se ter uma idéia de tamanho, normalmente, para se estudar um mineral na fração argila, é necessário aumento da ordem de 50.000 a 100.000 vezes (o maior aumento equivale ampliar um objeto de 1 cm para 1 km). Então, o termo solo arenoso indica apenas que, neste solo, ocorre o predomínio de minerais do tamanho areia.

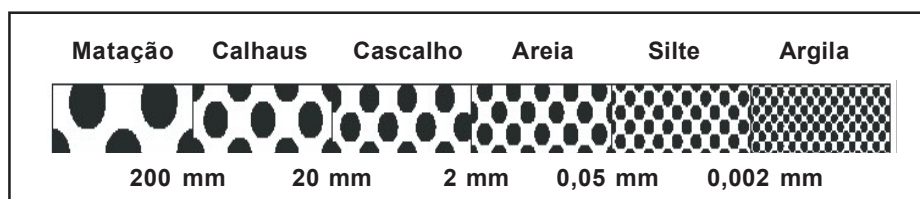


Figura 5. Escala de tamanho da fração mineral do solo.

Além do tamanho, é necessário saber quais os minerais que ocorrem nas frações areia, silte e argila do solo. Por exemplo, dois solos arenosos, um com predomínio de quartzo e outro de feldspato potássico (dois minerais primários) na fração areia, terão comportamentos diferentes. Instalando, por exemplo, a cultura da banana nesses solos, as plantas crescerão mais e com maior produção de frutos no solo rico em feldspato potássico devido a grande exigência desta cultura em potássio, nutriente inexistente no quartzo.

As frações areia e silte do solo, normalmente, são constituídas por minerais primários. Estes minerais são formados principalmente durante o resfriamento do magma, para a formação das rochas magmáticas ou ígneas. O granito e o basalto são dois exemplos comuns deste tipo de rocha, compostas exclusivamente por minerais primários. A fração mais fina (argila) é constituída basicamente por minerais secundários, ou seja, minerais formados por meio do intemperismo químico (alteração) dos minerais primários, sob condições ambientais.

Considerando que um granito foi exposto na superfície terrestre e começa a sofrer intemperismo (processo de alteração responsável pela transformação da rocha em solo), pode-se fazer o seguinte questionamento: por que uma rocha que apresenta apenas minerais do tamanho areia (todos minerais grandes, entre 0,05 e 2 mm, visíveis a olho nu) vai dar origem a um solo, por exemplo, com a seguinte granulometria (quantidades relativas das classes de tamanho da fração mineral): 50% de areia, 10% de silte e 40% de argila? De onde vieram os minerais do tamanho silte e argila existentes no solo e ausentes na rocha? Isto só é possível graças aos processos de intemperismo físico (fracionamento dos minerais) e químico que irão atuar sobre a rocha.

Na presença de água e calor, a rocha vai se desintegrando e liberando os minerais para o solo. Vamos tomar o feldspato (mineral primário) como exemplo por ser um mineral de fácil intemperismo químico e comum no granito (Figura 6). Se uma partícula de feldspato com 1,5 mm de diâmetro (tamanho areia) for quebrada em várias outras menores, as partículas resultantes poderão apresentar tamanho dentro do limite do silte (Figura 6). Contudo, por meio do intemperismo físico, as partículas conseguem chegar somente na fração silte.

O Intemperismo físico quebra o mineral do tamanho de areia (2 e 0,05 mm) e forma vários minerais do tamanho silte de (0,05 e 0,002 mm) (Figura 6a).

O Intemperismo químico dissolve o mineral primário do tamanho areia e silte e libera os elementos químicos no solo, que se juntam para formar os minerais secundários do tamanho argila (menor que 0,002 mm) ou ficam disponíveis para alimentar as plantas (Figura 6a).

A formação de minerais do tamanho argila é consequência do intemperismo químico, que vem a ser o ataque ácido da estrutura dos minerais na presença de água e calor. Como resultado desta dissolução dos minerais, seus constituintes serão liberados para a solução do solo (água com vários elementos dissolvidos), formando minerais secundários. Por exemplo, a biotita tem alto teor de ferro e, pelo seu intemperismo, este elemento químico será liberado e formará os óxidos de ferro (hematita e goethita), que são minerais secundários que imprimem as cores (vermelha e amarela) aos solos. Outra possibilidade é a formação da argila esmectita a partir do silício, ferro e magnésio liberados pelo intemperismo da biotita.

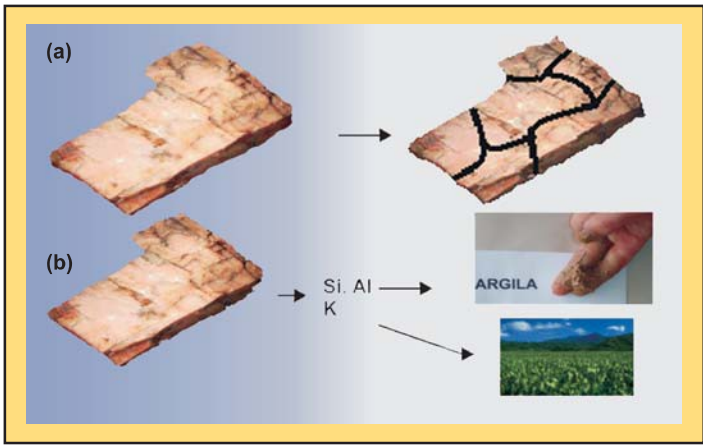


Figura 6. Seqüência de intemperismo físico (a) e químico (b) do feldspato potássico no solo.

Assim, fica fácil compreender porque os solos originados de granito, com o passar do tempo (milhares de anos), tornam-se mais argilosos (maior possibilidade de transformação dos minerais primários em minerais secundários da fração argila).

Será que este processo de formação de argila é ilimitado? Na verdade, este limite é determinado, normalmente, pelo teor de quartzo das rochas, uma vez que este é um mineral que, praticamente, não sofre intemperismo químico. Portanto, os solos velhos originados de granito apresentam, quase que exclusivamente, este mineral nas frações areia e silte. Para se ter uma idéia, para dissolver uma partícula de quartzo com 1mm de diâmetro (fração areia), é necessário em torno de 60.000 anos, em razão da dureza do mineral.

4.1.1. Frações Grosseiras (Areia e Silte)

É principalmente nas frações areia e silte que se encontram os minerais primários capazes de fornecer, após a intemperização, nutrientes que as plantas necessitam retirar do solo. Estes nutrientes, principalmente K, Ca, Mg e micronutrientes (por exemplo, Fe, Mn Cu, Zn, etc.) fazem parte da estrutura de alguns minerais primários (Quadro 1 e Figura 7) e são liberados para a solução (água) do solo pelo intemperismo. A planta, ao retirar a água

Quadro 1. Principais minerais primários potencialmente fontes de nutrientes para as plantas

Minerais primários	Nutrientes contidos no mineral
Olivina	Mg, Fe, Cu, Mn, Mo, Zn
Piroxênio	Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn
Anfibólio	Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn
Biotita (mica preta)	K, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn
Muscovita (mica branca)	K
Ortoclásio (feldspato potássico)	K
Plagioclásio (feldspato cálcico)	Ca, Cu, Mn
Apatita	P, Ca, Fe, Mg

(solução do solo) contida nos microporos, absorve também estes nutrientes essenciais ao seu crescimento. Então, os minerais primários, quando presentes no solo, funcionam como adubos naturais, que liberam lentamente os nutrientes para as plantas. Apesar de não apresentar elementos essenciais para as plantas (nutrientes), o quartzo (Figura 7) é o principal e o mais comumente mineral encontrado nas frações areia e silte dos solos.

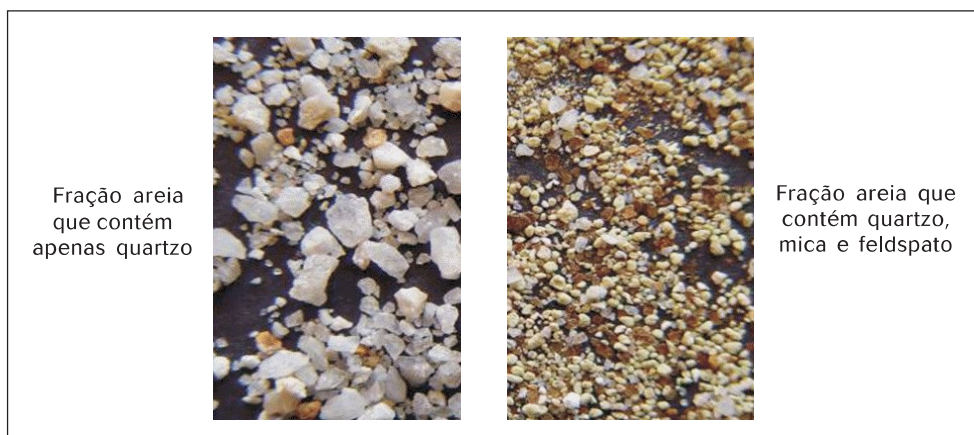


Figura 7. Fotografias da fração areia de dois solos com composição mineralógica distinta (minerais com tamanho entre 0,05 e 2 mm).

4.1.2. Fração Argila

A fração argila é composta, quase que em sua totalidade, por minerais secundários. Estes minerais são formados pela alteração dos minerais primários e, dependendo do grau de desenvolvimento do solo, também podem ser formados a partir da alteração de outros minerais secundários. São encontrados sob a forma de minerais silicatados (apresentam silício em sua estrutura) e também óxidos de ferro e alumínio. A presença de diferentes tipos de minerais secundários na fração argila depende basicamente da rocha de origem e do grau de evolução do solo. Estes minerais apresentam-se em estado coloidal, ou seja, fração extremamente pequena (menor que 0,002 mm), com a presença de cargas na superfície, o que possibilita a adsorção de íons. A adsorção é a atração dos íons de cargas opostas pelas cargas dos minerais (Figura 8).

Além disso, outras características importantes do solo são decorrentes da presença destas cargas (negativas ou CTC - capacidade de troca catiônica e positivas ou CTA - capacidade de troca aniônica) na superfície dos minerais: retenção de água, plasticidade e pegajosidade, dureza no estado seco e mudança de volume, conforme o teor de umidade, cor e formação da estrutura do solo (Figuras 2 e 3).

É fácil perceber as diferenças entre os minerais primários (silte e areia) e os minerais secundários (argila) em virtude da "ausência" de cargas superficiais na primeira classe de minerais, pois quando andamos em solo argiloso, as partículas grudam na sola do sapato, o que não acontece em solos arenosos ou siltosos.

A caulinita é o principal mineral silicatado da fração argila encontrado nos solos de todo o mundo, sobretudo, naqueles mais intemperizados (velhos) desenvolvidos na região tropical úmida. Este mineral é caracterizado por apresentar baixa quantidade de cargas negativas e formato de lâminas microscópicas. A esmectita e a vermiculita, também classificados como minerais silicatados secundários, podem ocorrer em alguns solos, especialmente nos solos mais jovens. Esses últimos minerais apresentam grande quantidade de cargas negativas (CTC), o que confere aos solos elevada capacidade de retenção de água e de nutrientes para as plantas. Por outro lado, solos com altos teores de esmectita na fração argila, em decorrência da elevada CTC e capacidade de expansão e contração deste mineral de acordo com o teor de umidade do solo, podem apresentar algumas características físicas indesejáveis, tais como: grande dureza, quando estiver seco, e alta pegajosidade, quando molhado, o que dificulta as práticas agrícolas (aração, gradagem, plantio, etc.).

Os óxidos de ferro e alumínio são também importantes constituintes da fração argila dos solos muito velhos. Normalmente, tais óxidos determinam a cor e influenciam a estrutura e a adsorção de nutrientes nos solos. Os óxidos mais comuns e abundantes no solo são a gibbsita (óxido de alumínio), a goethita (óxido de ferro) e a hematita (óxido de ferro). No solo, a hematita dá a cor vermelha e tem um poder pigmentante bastante intenso, razão pela qual mesmo em baixas concentrações consegue imprimir a sua cor característica. A goethita é a mais freqüente forma de óxido de ferro nos solos brasileiros. Ela ocorre em quase todos os tipos de solos e condições climáticas e é responsável pelas cores amareladas tão comuns em solos brasileiros.

4.2. Material Orgânico

O segundo componente da fase sólida do solo é a matéria orgânica, constituída por restos vegetais (folhas, galhos, frutos e raízes) e animais (esqueletos e fezes) em diversos graus de decomposição. Embora seja encontrada geralmente em pequenas quantidades (normalmente menos que 5% do volume do horizonte A dos solos), a matéria orgânica tem grande influência nas propriedades físicas e químicas do solo e no desenvolvimento das plantas. Já os horizontes subsuperficiais (B e C) apresentam menores teores de matéria orgânica.

A matéria orgânica (húmus) apresenta as seguintes funções: são praticamente as únicas reservas de nitrogênio e enxofre para as plantas; responsáveis pela maioria das cargas negativas, pois possui, em geral, mais de dez vezes a quantidade das cargas negativas dos minerais da fração argila de solos tropicais; diminuem a toxidez de elementos tóxicos as plantas, como o alumínio.

As plantas absorvem os nutrientes do solo e os incorporam nos tecidos vegetais. Com a decomposição biológica destes resíduos, processo também chamado de mineralização, os nutrientes retornam ao solo, podendo ser novamente absorvidos pelas plantas (Figura 9). Este processo de reaproveitamento é chamado de ciclagem de nutrientes.

Os solos da floresta Amazônica são, em grande parte, quimicamente muito pobres, contudo, suportam uma floresta bastante exuberante. Os resíduos vegetais que caem

sobre a superfície do solo são rapidamente decompostos pelos organismos, sendo o processo de mineralização favorecido pelas chuvas constantes e temperaturas elevadas da região. Considerando o grande volume de raízes das árvores, os nutrientes liberados são quase que integralmente reabsorvidos, e as mesmas continuam a se desenvolver graças à ciclagem de nutrientes.

Com a decomposição biológica dos restos de plantas e animais, é formado o húmus ou fração húmica do solo (Figura 9). Esta fração interfere em várias propriedades do solo, tais como: promove adsorção de cátions (apresenta elevada CTC) (Figuras 8 e 9), auxilia na estabilização da estrutura do solo (Figuras 2 e 3), aumenta a retenção de água, influencia diretamente a cor, conferindo coloração escura no horizonte A, e reduz a plasticidade e a pegajosidade do solo. Grande parte da CTC dos solos desenvolvidos sob clima tropical advém das cargas negativas presentes na fração húmica.

A quantidade de matéria orgânica (resíduo vegetal mais fração húmica) no solo varia com o clima, tipo de vegetação de cobertura, textura, teor de umidade e tipo de uso do solo.

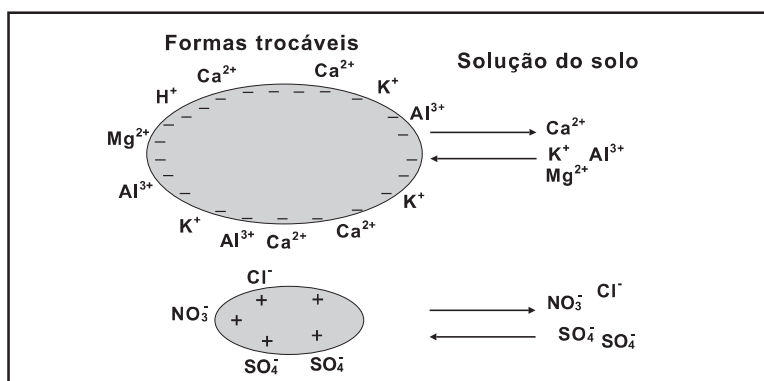


Figura 8. Representação esquemática mostrando o equilíbrio entre os cátions adsorvidos nas cargas negativas (CTC) e ânions adsorvidos nas cargas positivas (CTA), presentes na superfície da fração húmica e nos minerais da fração argila, com a solução do solo.

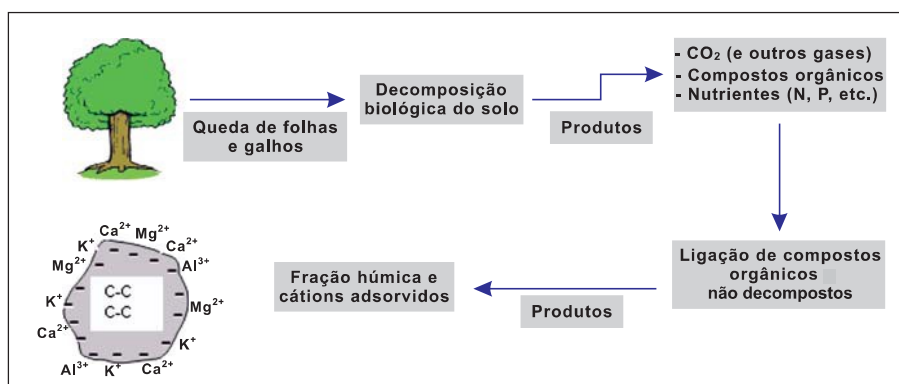


Figura 9. Representação esquemática da decomposição dos resíduos vegetais (floresta) e formação da fração húmica do solo (compostos orgânicos (carbono) extremamente pequenos, menores que os minerais da fração argila).

5. CARGAS ELÉTRICAS NO SOLO E SUA RELAÇÃO COM O CRESCIMENTO DE PLANTAS E POLUIÇÃO AMBIENTAL

Como exemplo, vamos comparar duas áreas com solos com boas características físicas, mas com textura distinta (proporção de areia, silte e argila):

Área 1: solo arenoso (80% de areia, 5% de silte e 15% de argila);

Área 2: solo muito argiloso (70% de argila, 15% de silte e 15% de areia).

Pergunta 1 - Um agricultor fez o mesmo investimento financeiro para produzir milho nas duas áreas, adotando condições idênticas de manejo da cultura (preparo do solo, plantio, quantidade de adubo aplicado, irrigação e tratamentos culturais). Em qual solo tem-se a expectativa de maior produtividade para o mesmo custo de produção, ou seja, maior retorno financeiro para o produtor rural?

Pergunta 2 - Considerando que foi disposto, de forma inadequada, uma carga de metais pesados ou outro poluente nas duas áreas (poluição ambiental), em qual solo se espera menor transporte destes poluentes da superfície até o lençol freático, causando menor contaminação às águas subterrâneas e superficiais (rios, lagos)?

Na área 2 teremos maior produção agrícola e menor contaminação da água em virtude da maior quantidade de cargas elétricas. Estas cargas, em maior número as negativas, encontram-se na superfície dos minerais da fração argila e da fração húmica da matéria orgânica. Ao conjunto das cargas negativas dá-se o nome de capacidade de troca catiônica (CTC), e das cargas positivas, capacidade de troca aniônica (CTA). As cargas negativas e positivas destes constituintes do solo são responsáveis pela retenção dos nutrientes do adubo, essenciais ao crescimento das plantas, e dos poluentes dispostos na superfície do solo.

Já no solo arenoso (área 1), nutrientes do adubo e dos poluentes atingem rapidamente as águas subterrâneas, causando maior poluição ambiental. Isto ocorre porque os minerais da fração areia (quartzo, por exemplo) não apresentam cargas superficiais. Se for feita uma adubação ou adição de metais pesados em um monte de areia de construção, com as chuvas, todos os nutrientes e poluentes serão facilmente lavados.

5.1. Crescimento das Plantas

A produção das plantas é diretamente dependente da presença de cargas elétricas (negativas e positivas) nos minerais da fração argila e nos componentes orgânicos (fração húmica da matéria orgânica), destacando-se os seguintes efeitos:

5.1.1. Retenção (Adsorção) de nutrientes

A presença de cargas elétricas é extremamente importante para reter (adsorver) os nutrientes, reduzindo a perda dos cátions e ânions para o lençol freático (lixiviação). Por exemplo, após uma fertilização com K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} (cátions), SO_4^{2-} e NO_3^- (ânions), o adubo será dissolvido pela água e os nutrientes irão para solução do solo (água contida no interior dos poros do solo). Em razão da diferença de cargas, os cátions serão atraídos pelas cargas negativas (CTC) e os ânions pelas cargas positivas (CTA) (Figura 8). Notar que entre os cátions normalmente encontrados no solo (Figura 8), o Al^{3+} é prejudicial às plantas (ver capítulo sobre fertilidade do solo).

Se o solo for argiloso e apresentar alta CTC e CTA, grande parte dos nutrientes colocados com o adubo serão adsorvidos, reduzindo muito suas concentrações na solução do solo. Apenas os nutrientes na solução do solo são passíveis de sofrer perdas por lavagem pela água (lixiviação). Por outro lado, os nutrientes (cátions e ânions) adsorvidos às cargas do solo estão disponíveis para serem absorvidos pelas plantas. O resultado será o melhor aproveitamento do adubo, aumentando a produtividade (Figura 10). Por outro lado, ao colocar a mesma quantidade de adubo em um solo muito arenoso e com baixo teor de matéria orgânica, grande parte dos nutrientes permanece na solução do solo, intensificando a lixiviação (Figura 8).

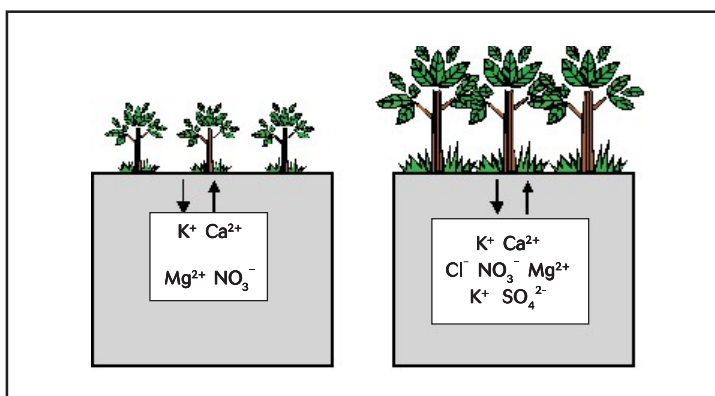


Figura 10. Relação entre quantidade de nutrientes adsorvidos às cargas do solo com o crescimento e produção das plantas.

5.1.2. Retenção de água

Um solo com maior presença de cargas elétricas terá maior capacidade de armazenar água. Já em um solo arenoso, são necessárias irrigações mais freqüentes para manter um teor adequado de umidade e não causar murchamento das plantas.

5.1.3. Formação das estruturas do solo

A formação da estrutura ou agregado do solo (ver capítulo sobre morfologia do solo) envolve duas etapas:

1ª etapa - inicialmente, as partículas se atraem mutuamente pela presença de cargas elétricas de superfície (negativas e positivas) e de cátions e ânions adsorvidos. Um mineral secundário com muita carga negativa pode ser atraído por outro com bastante carga positiva (atração entre cargas opostas) (Figura 11). Portanto, para a formação do agregado, é necessário haver floculação (atração) entre os minerais da fração argila e a fração húmica do solo. Outro fator que favorece a floculação e formação dos agregados é a presença de cátions no solo (Figura 11).

2ª etapa - estabilização dos agregados. Após a união das partículas em unidades estruturais, que podem variar desde 1 mm a vários centímetros de tamanho (Figura 2), com o passar do tempo e com a presença de matéria orgânica mais óxidos de ferro (hematita e goethita), estes agregados são cimentados e tornam-se unidades estáveis.

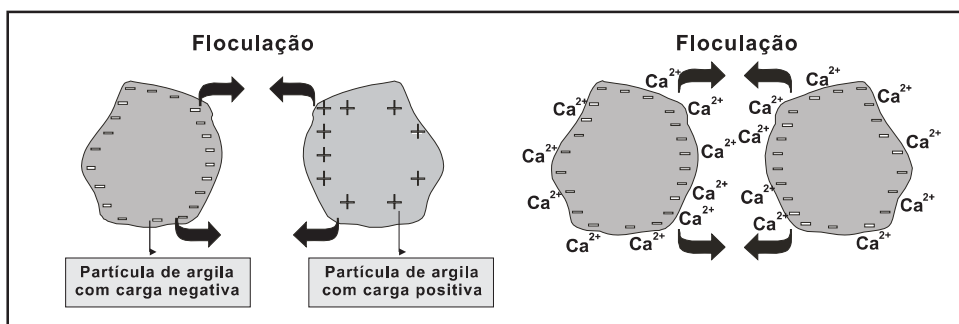


Figura 11. Floculação de minerais da fração argila (menor que 0,002 mm) do solo, considerando as cargas superficiais e os cátions adsorvidos para formação da estrutura do solo.

Com a organização da fase sólida em agregados, formam-se espaços porosos no solo (macroporos e microporos) (Figura 3). Graças a esses agregados, as plantas apresentam melhores condições para crescimento e produção: as frações areia e silte e os resíduos de plantas e animais no interior dos agregados liberam nutrientes durante o intemperismo dos minerais primários e decomposição da matéria orgânica; a fração argila e o húmus do solo adsorvem os nutrientes essenciais às plantas (CTC e CTA), reduzindo a perda por lixiviação; as raízes das plantas absorvem água e nutrientes (solução do solo) contidos nos microporos; as células das raízes das plantas respiram graças ao ar (oxigênio) dos macroporos (Figura 3).

5.2. Poluição Ambiental

A água que se infiltra no solo ou escorre na sua superfície contém vários tipos de materiais, substâncias e íons dissolvidos. Mesmo a água da chuva não é pura no momento que chega ao solo. Os poluentes podem ser de origem natural ou produzidos pelo homem, o qual acelera a poluição ambiental. Atividades industriais e agrícolas são importantes contribuintes para reduzir a qualidade dos solos e das águas.

O solo e a água podem ser contaminados pela disposição inadequada de diversos tipos de resíduos no meio ambiente (Figura 12): lixo urbano, lodo de esgoto, resíduos industriais, resíduos de mineração, etc. A crescente demanda por comida, água e energia nos impulsiona a entender melhor a dinâmica dos poluentes no solo, o que possibilita reduzir os riscos de contaminação dos corpos d'água. Padrões de qualidade e a definição dos níveis em que um composto químico é considerado poluente variam com o uso destinado para a água. Por exemplo, padrões para água de consumo humano são muito mais rígidos e restritivos do que padrões para água utilizada na irrigação de culturas agrícolas.

As cargas do solo funcionam como barreiras químicas ao deslocamento de determinados poluentes graças à interação (adsorção) destes compostos ou íons com a fase sólida do solo. Portanto, as cargas negativas (CTC) adsorvem os poluentes de cargas positivas e as cargas positivas (CTA) adsorvem os poluentes de cargas negativas, limitando o deslocamento destas substâncias em direção ao lençol freático. Deve-se lembrar que os íons ou compostos iônicos são lixiviados apenas se permanecerem livres na solução do solo. Caso ocorra a contaminação do lençol freático, esta se espalha rapidamente pois a água subterrânea é responsável pela manutenção dos rios, lagos e mares.

Os poluentes que chegam ao solo apresentam natureza diversa, destacando-se:

- 1) Agrotóxicos: vamos chamar de forma genérica de agrotóxicos (Figura 13) aqueles compostos químicos utilizados na agricultura para o controle de plantas invasoras (herbicida), controle de insetos (inseticida) e fungos (fungicida) que atacam as plantas e reduzem a produção.
- 2) Adubos e calcários (Figura 13). Compostos químicos que contêm nutrientes essenciais ao crescimento das plantas (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, etc.), principalmente quando aplicados em excesso, são causas comuns de perda de qualidade das águas, principalmente, em virtude do processo de eutrofização (Figura 13). Por exemplo, a presença de altos teores de nitrogênio e fósforo em um reservatório pode tornar a água imprópria para o consumo mediante o crescimento exagerado de organismos, sobretudo algas e plantas aquáticas. A presença de cargas elétricas (positivas e negativas) no solo aumenta a adsorção dos nutrientes (NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , etc.) (Figura 8), reduzindo a lixiviação e contaminação das águas.
- 3) Metais pesados mais comuns são Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{2+} , Zn^{2+} , Hg^{2+} , Cu^{2+} e Ni^{2+} . As principais fontes de metais pesados no ambiente são: lixo urbano, lodo de esgoto, resíduos industriais, resíduos de mineração (Figura 12), calcários e adubos minerais e orgânicos (Figura 13). Esses metais pesados apresentam cargas positivas e terão forte atração pelas cargas negativas dos solos (Figura 8), reduzindo a contaminação do lençol freático.

Além do potencial de causar toxidez aos microrganismos, às plantas e aos animais, os metais pesados podem fazer parte da cadeia alimentar humana.

Em altas concentrações ou acumulados ao longo do tempo nos organismos, os metais pesados podem causar diversos distúrbios ao metabolismo dos seres vivos. Nas plantas, os metais pesados podem, freqüentemente, acumular-se em quantidades consideráveis nos tecidos e excederem, quando ingeridos, os níveis de tolerância do organismo humano e animal. Existe grande variabilidade entre espécies de plantas quanto à absorção de metais pesados. Contudo, mais importante que o total absorvido, é o acúmulo de metais pesados em partes da planta que serão consumidas diretamente por animais e pelo homem. Como regra geral, o conteúdo de metais pesados ocorre na ordem: folhas > raízes de reserva > tubérculos > sementes e frutos. O acúmulo de metais pesados nas partes comestíveis de plantas afeta direta e indiretamente o homem, sendo o efeito direto causado pela ingestão de plantas contaminadas e o indireto pelo consumo de animais previamente contaminados. Uma grande preocupação com relação ao consumo de alimentos contaminados por metais pesados deve-se ao efeito acumulativo destes no organismo, provocando intoxicação por ingestão prolongada, mesmo quando os teores ingeridos são baixos.

Com o objetivo de reduzir a biodisponibilidade de metais pesados no solo, tem sido recomendada a utilização de adubos com baixos teores de metais, a calagem (aplicação de calcário), o recobrimento do solo contaminado e o "repouso" do solo por períodos de tempo suficiente para que ocorra a passagem dos metais para formas não-disponíveis para os seres vivos.



Figura 12. Disposição inadequada de resíduos no meio ambiente.



Figura 13. Aplicação de agrotóxico e adubo ao solo e contaminação e eutrofização da água.

Como conclusão, pode-se destacar que determinado poluente com ou sem cargas elétricas, quando disposto sobre o solo, pode apresentar grande potencial de poluição de aquíferos, rios, lagos e mares. O transporte destes poluentes até os corpos de águas, superficiais ou subterrâneos, pode ser por dois caminhos: 1) via arraste de partículas sólidas e solutos do solo pelo processo erosivo (enxurrada) ou; 2) lixiviação (poluentes iônicos) ou carreamento de substâncias sem cargas elétricas no perfil do solo. O primeiro processo é favorecido por regiões que apresentam relevo acidentado, baixa taxa de infiltração de água no solo (baixa quantidade de macroporos) e ausência de cobertura vegetal. Quanto maior a presença de cargas elétricas no solo, menor será a lixiviação dos poluentes.

6. ATIVIDADE PROPOSTA

6.1. Estudo da Fase Sólida do Solo (Matéria Mineral e Matéria Orgânica)

6.1.1. Diferenciação de minerais primários e minerais secundários

- a) Conceito: As frações areia e silte são constituídas, principalmente, por minerais primários, com tamanho entre 0,002 e 2 mm (visíveis ao olho nu) e não apresentam cargas elétricas livres em suas superfícies (ausência de CTC e CTA). Já a fração argila é formada, principalmente, por minerais secundários, com tamanho muito pequeno ($< 0,002$ mm), visíveis apenas em microscópio eletrônico e apresentam grande número de cargas elétricas negativas (CTC) e positivas (CTA).
- b) Princípio da atividade: A distinção entre areia e silte (minerais primários) e argila (minerais secundários) é possível pela sensação que uma amostra seca, úmida ou molhada oferece ao tato, quando trabalhada entre os dedos.
- c) Procedimento: manusear com os dedos as seguintes amostras (Figura 14): 1) fração areia : amostra seca de areia de construção - tato áspero (devido ao maior tamanho dos minerais) e não-pegajosa (ausência de CTC e CTA); 2) fração silte: amostra seca ou úmida de horizonte C de solo originado de rochas sedimentares e metamórficas finas (exemplo, siltito e filito): tato sedoso (devido ao tamanho intermediário entre areia e argila) e não pegajosa (ausência de CTC e CTA). Tendo em vista a dificuldade de obtenção de amostras naturais ricas em silte, a percepção do tato sedoso pode ser obtida manuseando o talco de uso doméstico entre os dedos; 3) fração argila: amostra molhada de solo argiloso - grande pegajosidade nos dedos, ou seja, aspecto de "barro" (atribuído ao tamanho microscópio e grande CTC e CTA das partículas).

6.1.2. Diferenciação dos principais tipos de minerais primários

- a) Princípio da atividade: Além do tamanho dos minerais primários, é importante, principalmente para fins agrícolas, saber quais os minerais que ocorrem nas frações areia e silte do solo.
- b) Procedimento: tentar conseguir amostras de alguns minerais primários, como, por exemplo (Figura 15), quartzo, feldspato, mica preta, mica branca e calcita (pedaço de calcário ou mármore). Estes minerais podem ser dispostos em uma caixa na forma de mostruário.



Figura 14. Diferenciação de minerais primários e secundários pelo tato.



Figura 15. Exemplos de minerais primários.

6.1.3. Demonstração do Intemperismo (Dissolução dos minerais primários)

- Conceito: a formação da fração argila (minerais secundários) é consequência do intemperismo químico dos minerais primários, que vêm a ser o ataque ácido da estrutura destes minerais na presença de água e calor.
- Princípio da atividade: a calcita (CaCO_3) é um mineral facilmente dissolvido por solução ácida pela reação do ânion (CO_3^{2-}) com o H^+ da solução, formando ácido carbônico (H_2CO_3), o qual se dissocia em água e gás carbônico (CO_2).
- Preparação da solução diluída de ácido clorídrico. Adquirir no mercado ácido muriático (nome comercial para o ácido clorídrico). Misturar uma parte do ácido com quinze partes de água para preparar a solução. Para tal, utilizar uma tampa de garrafa de refrigerante como dosador. Armazenar a solução diluída em frascos com tampa.

IMPORTANTE - esta solução deve ser preparada exclusivamente pelo professor, na ausência dos alunos. A solução concentrada de ácido clorídrico é corrosiva e seu contato com a pele e olhos causa queimadura. Portanto, para manusear o ácido concentrado, utilizar luva de borracha e óculos de proteção.

- d) Procedimento (Figura 16). Colocar algumas gotas da solução de ácido clorídrico diluída sobre uma parte da amostra de calcita (calcário ou mármore) conseguida na atividade anterior (6.1.2). Rapidamente, será vista a formação de bolhas sobre a amostra devido a liberação de CO_2 , evidenciando o ataque ácido do mineral primário. Esta reação pode ser comparada com o que ocorre na natureza, onde os minerais primários lentamente (milhares de anos) vão sendo atacados pelo hidrogênio presente na água da chuva. Como resultado, os elementos constituintes dos minerais primários são liberados para o solo e formam os minerais secundários (fração argila).

6.1.4. Diferenciação dos principais tipos de minerais secundários

- a) Conceito: os minerais secundários apresentam cores características, como, por exemplo: hematita - cor vermelha, goethita - cor amarela e caulinita e/ou esmectita - cor branca.
- b) Princípio da atividade: como os minerais secundários não são visíveis ao olho nu, indicar a presença destes minerais de acordo com as cores dos solos.
- c) Procedimento (Figura 17): fazer um mostruário com amostras de solo com coloração variada: cor amarela - presença de goethita; cor vermelha - presença de hematita; cor branca - presença de caulinita e/ou esmectita. A amostra de coloração branca pode ser encontrada nas regiões de banhado (abaixo do horizonte orgânico) e nas margens dos rios (barro branco muito utilizado em trabalhos de modelagem).

6.1.5. Presença de cargas elétricas nos minerais da fração argila - atração de cargas opostas

- a) Conceito: os minerais da fração argila são extremamente pequenos (invisíveis ao olho nu) e apresentam cargas negativas (CTC) e positivas (CTA). Sob determinadas condições do solo, principalmente pH, verifica-se que alguns minerais da fração argila apresentam mais cargas negativas que positivas.
- b) Princípio da atividade: ao serem colocadas, em contato com os pólos de uma bateria, haverá migração das argilas em direção aos pólos, graças ao fenômeno de atração entre cargas opostas. Normalmente, o solo apresenta mais cargas negativas que positivas, principalmente, nos solos mais jovens.
- c) Procedimento (Figura 18): para conduzir esta atividade, é necessária uma bateria pequena (9 volts) com carga. Conectar, separadamente, fios metálicos desencapados aos dois pólos da bateria. Misturar uma amostra de solo argiloso com água (mexer bem até destruir completamente os agregados do solo) e colocar a suspensão em um vidro pequeno. É recomendável deixar a suspensão de argila bem concentrada (pastosa). Inserir as duas extremidades dos fios metálicos que não foram ligadas diretamente na bateria dentro do vidro. Deixar em repouso por aproximadamente 4 minutos. Observar que haverá uma atração dos minerais da fração argila com cargas



Figura 16. Dissolução do mineral calcita com solução ácida.



Figura 17. Relação entre cor e minerais secundários da fração argila dos solos.

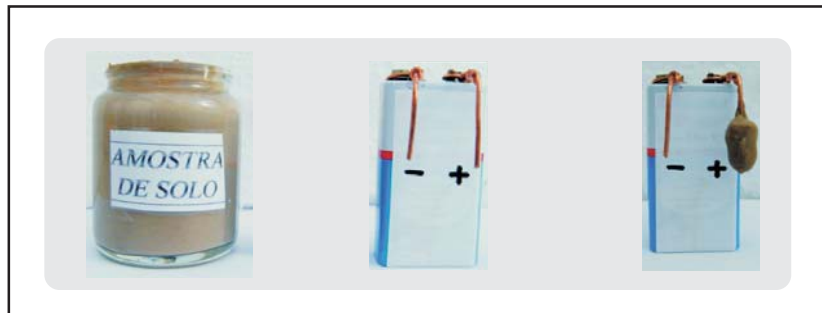


Figura 18. Demonstração da presença de cargas elétricas nos minerais da fração argila dos solos.

negativas em direção ao pólo positivo da bateria, e vice-versa. Na maior parte dos solos, espera-se maior recobrimento do fio ligado ao pólo positivo da bateria em virtude do predomínio de cargas negativas.

6.1.6. Presença de cargas elétricas nos minerais da fração argila - floculação das partículas

- a) Conceito: as partículas de argila se atraem mutuamente (floculação) nas seguintes condições: 1) atração entre partículas com excesso de cargas opostas, ou seja, uma tem mais cargas negativas (CTC) e outra mais cargas positivas (CTA) (Figura 11); 2) o excesso de cátions também promove a floculação dos minerais da fração argila. Este

princípio é utilizado na estação de tratamento de água, onde os operadores conseguem "limpar" uma água de captação barrenta (partículas de argila em suspensão, que por causa de seu tamanho desprezível, apresentam dificuldade para se sedimentarem) com o uso de sulfato de alumínio. O cátion Al^{3+} será adsorvido às cargas negativas, floculando as partículas de argila (Figura 11). Graças ao maior peso, os flocos de argila formados descem rapidamente para o fundo do reservatório, tornando a água clara.

- b) Princípio da atividade: será utilizado o Na^+ como cátion floculante. Este cátion, em baixa concentração, é considerado como dispersante das argilas. Contudo, quando adicionado em excesso, ele apresenta comportamento contrário.
- c) Procedimento (Figura 19): colocar cerca de 20 gramas de amostra de solo argiloso (horizonte B) em um copo grande de vidro e acrescentar aproximadamente 200 mL de água de torneira. Misturar intensamente até quebrar todos os agregados do solo. Mostrar aos alunos o ponto inicial da atividade onde as partículas de argila estão dispersas, formando uma água barrenta. Acrescentar pequenas quantidades de sal de cozinha (NaCl) no copo e mexer constantemente até a formação dos flocos de argila (mesma aparência de leite coalhado). Quando atingir este ponto, deixar a suspensão em repouso e verificar que após poucos minutos a água vai-se tornando limpa pela sedimentação da argila floculada. Dependendo da natureza dos minerais da fração argila, pode-se gastar grande quantidade de sal.

6.1.7. Presença de cargas elétricas nos minerais da fração argila - relação com a produção das plantas

- a) Conceito: as cargas negativas e positivas existentes na superfície dos minerais da fração argila e da fração húmica da matéria orgânica são importantes para retenção de nutrientes (cátions e ânions) e água para as plantas. Como resultado, obtêm-se maior crescimento e maior produção das culturas.
- b) Procedimento (Figura 20): Conseguir solos com quantidades distintas de argila. Solo muito argiloso (horizonte A) e que tenha, preferencialmente, boa fertilidade (importante para favorecer o crescimento das plantas) e solo muito arenoso (se não tiver solo arenoso, pode-se misturar uma porção do solo argiloso com de areia de construção, na proporção de uma parte de solo e quatro partes de areia). Caso existirem, quebrar os torrões e passar as duas amostras (solo argiloso e mistura arenosa) em peneira (normalmente 2 mm) e encher dois vasos (por exemplo, capacidade para dois litros). Molhar bem os solo e plantar algumas sementes de milho ou feijão a uma profundidade de aproximadamente 2 cm. Durante o crescimento das plantas, fazer irrigações periódicas para manter o solo úmido (não encharcar). Observar e discutir com os alunos que as plantas se desenvolvem melhor no solo mais argiloso em decorrência, principalmente, da maior presença de cargas elétricas.

6.1.8. Diferenciação dos constituintes da matéria orgânica: resíduos vegetais e fração húmica (húmus do solo)

- a) Conceito: a matéria orgânica do solo é dividida em restos de vegetais e animais e fração húmica. Com a decomposição biológica dos restos de plantas e animais, é

formado o húmus ou fração húmica do solo (ver detalhes na Figura 9), que é facilmente percebida no solo graças à sua coloração preta.

- b) Procedimento (Figura 21): conseguir um torrão grande do horizonte A para mostrar os resíduos vegetais (folhas, raízes, etc.). A presença da fração húmica é feita de forma indireta pela coloração preta da amostra, um vez que estes compostos orgânicos são extremamente pequenos (menores que os minerais da fração argila). Outra alternativa é levar os alunos diretamente a um perfil de solo próximo à escola para mostrar os constituintes orgânicos do horizonte A.

6.2. Estudo da Fase Líquida (Água) e Gasosa (Ar) do Solo

- a) Conceito: o agrupamento da fase sólida do solo em agregados dá origem aos poros do solo, onde se distinguem duas categorias de poros; macroporos - poros grandes localizados entre os agregados e microporos - poros pequenos formados dentro dos agregados. Os poros grandes são responsáveis pelo fornecimento de ar (oxigênio) para raízes das plantas e outros organismos do solo e os poros pequenos pelo armazenamento de água para suportar a vida do solo.
- b) Procedimento (Figura 22): secar em temperatura ambiente o torrão usado na atividade anterior (6.1.8). Neste ponto, praticamente, todos os poros (dentro e entre os agregados) estarão ocupados por ar. Acrescentar pequenas quantidades de água sobre o torrão e observar e discutir com os alunos que a entrada de água no seu



Figura 19. Floculação dos minerais de argila do solo.



Figura 20. Experimento em vasos mostrando a importância da fração argila (cargas negativas e positivas) sobre o crescimento das plantas.

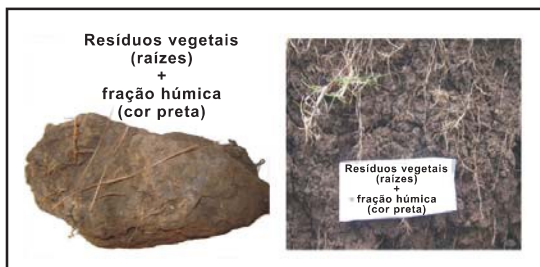


Figura 21. Diferenciação dos componentes da matéria orgânica do solo (resíduos vegetais e fração húmica).

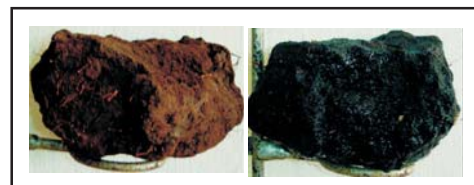


Figura 22. Poros do solo ocupados por ar (solo seco) e água (solo molhado).

interior ocorre em virtude da presença dos poros do solo. Quando o torrão estiver completamente molhado (saturado), o excesso será perdido pela passagem da água pelos macroporos (drenagem), evitando, assim, a erosão. Deixar em repouso por algumas horas e verificar que o torrão ainda continuará molhado graças à retenção de água nos microporos.

7. REFERÊNCIAS

COSTA, J.B. **Caracterização e constituição do solo**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1991. 527p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492p.

MONIZ, A.C. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 460p.

CAPÍTULO 5

FERTILIDADE DO SOLO E CICLO DOS NUTRIENTES

Antônio Carlos Vargas Motta¹

Milena Barcellos²

1. INTRODUÇÃO

A fertilidade do solo estuda a capacidade do solo em suprir os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas. Na natureza, os nutrientes fazem parte de ciclos, ou seja, são reutilizados na cadeia alimentar dos seres vivos. O solo fornece os nutrientes para as plantas que são utilizadas como alimento pelos animais e seres humanos. Assim, o nutriente que estava no solo passa a fazer parte de todos os seres vivos. Por exemplo, o cálcio que está no solo é absorvido pelos vegetais, onde vai fazer parte das células da folha, caule, etc. Quando nos alimentamos de uma saborosa salada, estamos reutilizando o cálcio que a planta absorveu do solo. Em nosso organismo, este cálcio vai participar de diversos processos, como, por exemplo, a formação dos ossos.

Na produção rural, os agricultores podem modificar os teores de nutrientes do solo para aumentar a produtividade das culturas. Para isso, eles utilizam calcários, adubos químicos e orgânicos. Dessa forma, os vegetais podem se desenvolver adequadamente, sem que no solo ocorra “falta” ou deficiência dos nutrientes. Neste caso, algumas pessoas dizem que o solo está “fértil”. Mas, o que vem a ser um solo fértil?

O solo fértil sempre apresenta algumas características, como:

- Grande reserva de nutrientes de forma balanceada que garanta o adequado crescimento das plantas durante um longo período de tempo (vários anos, por exemplo);
- Não possuir elementos tóxicos para as plantas em quantidades que diminuam o seu crescimento. Um exemplo de elemento tóxico é o alumínio que, quando existe no solo em altas quantidades, prejudica o desenvolvimento das raízes das plantas.

¹ Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mail: mottaacv@ufpr.br

² Engenheira Agrônoma, Mestre em Ciências do Solo, UFPR. E-mail: milenabarcellos@msn.com

2. ELEMENTOS ESSENCIAIS

Dos elementos químicos que a planta absorve, 17 são essenciais, isto é, a falta de um ou mais interfere no desenvolvimento da planta que não cresce saudável e não se multiplica. São eles: carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn). Existe ainda o sódio (Na), mas ele é considerado essencial apenas para algumas plantas adaptadas a ambientes salinos, onde existe muito sal (NaCl), como, por exemplo, próximo ao mar, em regiões de mangue.

Os mais abundantes nas plantas são N, P, K, Ca, Mg e S (Figura 1), e, por isso, são freqüentemente aplicados na agricultura através de adubos e calcários. Essas informações são muito específicas para serem transmitidas aos estudantes, mas devemos chamar a atenção para fatos do cotidiano que relacionam os nutrientes do solo e a saúde de animais e seres humanos. Como exemplo, temos o N como elemento constituinte de todas as proteínas e aminoácidos encontrados nos alimentos (carne, soja, feijão, etc), o Ca na formação dos ossos e dentes, Fe no controle da anemia, e P na formação dos ossos, etc.

O carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H) são fornecidos às plantas através do gás carbônico (CO_2) e oxigênio (O_2) e da água (H_2O) (Figura 1). Dessa forma, o ser humano praticamente não tem controle sobre o fornecimento de C, H e O. Mas isso não significa que esses três nutrientes não são importantes, pois eles formam aproximadamente 94 % de toda a matéria vegetal com base no material seco. Apenas o restante (6%) é formado pelos demais elementos minerais.

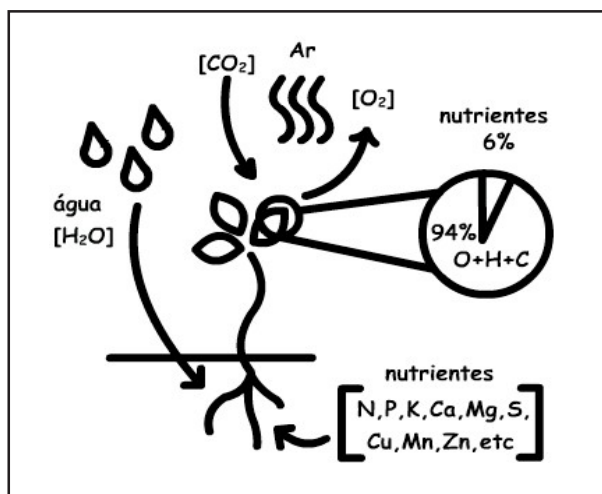


Figura 1. Principais constituintes da planta e fontes dos elementos absorvidos.

3. CICLO DO CARBONO

Sabemos que a atmosfera terrestre é formada por diversos gases. Os dois mais conhecidos por nós são o gás carbônico (CO_2) e o oxigênio (O_2), que fazem parte de importantes processos, como a respiração dos seres vivos e a fotossíntese dos vegetais.

Atualmente, existe grande preocupação com o chamado “efeito estufa”. Esse efeito está relacionado com o aumento dos níveis de CO_2 na atmosfera do planeta. Qualquer atividade que emita (libere) CO_2 para a atmosfera influencia o efeito estufa. No mundo, a principal responsável por essa emissão é a queima de combustíveis fósseis que libera grandes quantidades de CO_2 , aumentando em muito os seus teores na atmosfera. No Brasil, a maior responsável por esses aumentos são as queimadas de pastagens e florestas.

Quando a luz chega a uma superfície, parte dela é absorvida e parte é refletida. Os raios solares que chegam ao nosso planeta são absorvidos para o aquecimento da terra, para a fotossíntese dos vegetais, e também para a regulação do ciclo das águas, através da evaporação.

Entretanto, desses raios são em parte, refletidos pela terra, devem voltar para o “espaço”. Quando os níveis de CO_2 de nossa atmosfera estão muito elevados, esses raios, que deveriam voltar para o espaço, “batem” nas moléculas de CO_2 , e novamente são refletidos para a terra. O que acontece é um efeito acumulativo, porque o sol não pára de emitir raios solares que incidem constantemente na terra. E os raios não conseguem sair da atmosfera terrestre, e são novamente refletidos (Figura 2). As conseqüências ambientais são sentidas principalmente sobre o clima, pois o efeito estufa ocasiona o aquecimento do planeta.

Contudo, o CO_2 atmosférico não causa apenas efeitos prejudiciais, pois sua presença é necessária para que as plantas realizem a fotossíntese (Figura 3). Então, será que os vegetais podem ajudar o ser humano a diminuir o teor de CO_2 na atmosfera? Sim, e atualmente chamamos esse processo de “seqüestro de carbono”, isso porque o C, além de fazer parte da molécula de CO_2 , representa a maior parte do tecido vegetal. As florestas, pastagens e cultivos podem retirar o C do ar, através da absorção de CO_2 no processo de fotossíntese, diminuindo assim o efeito estufa.

Neste caso, o efeito nocivo da queima de combustíveis e das queimadas de pastagens e florestas pode ser revertido, quando a mesma quantidade de CO_2 liberado na atmosfera for fixada através das plantas.

Todo esse processo pode ser estudado do ponto de vista de energia, por meio um ciclo. As plantas e outros organismos vivos que fazem a fotossíntese (Figura 3) absorvem a energia do sol. Essa energia transforma a água absorvida do solo pelas raízes e o CO_2

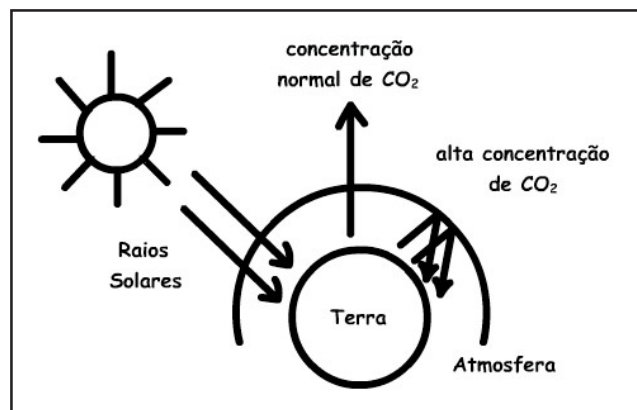


Figura 2. Efeito estufa.

absorvido da atmosfera pelas folhas em carboidratos, proteínas, óleos e muitos outros compostos que serão armazenados no tecido vegetal. Então, quando nos alimentamos dos vegetais, estamos consumindo diretamente a energia que estes armazenaram. Ou, quando nos alimentamos de outros seres vivos que consumiram os vegetais, estamos consumindo indiretamente a energia armazenada na fotossíntese.

Essa energia, primeiramente é utilizada no metabolismo de vegetais e organismos autótrofos (que produzem seu próprio alimento através da fotossíntese). Posteriormente, torna-se fonte de energia para os demais organismos da terra que se alimentam desses seres vivos. É importante lembrar que parte do que os animais se alimentam fica no corpo, na forma de tecido. Retirando o peso dos ossos que são compostos basicamente por Ca e P e da água que esta distribuído por todos os tecido e sangue, somos formados por C, O, H e N, isto é, praticamente com os mesmos elementos das plantas.

Outra forma de o homem utilizar a energia acumulada pelas plantas é através da queima de lenha e carvão vegetal, para assar um churrasco ou pão, por exemplo. Essa energia acumulada é chamada de biomassa, e, por se tratar de uma queima, também libera CO_2 para a atmosfera. Ou seja, qualquer queima representa o processo inverso do seqüestro de C.

Assim, quando utilizamos derivados de petróleo, gás natural e carvão mineral, que foram formados há milhões de anos através da morte e acumulação de microrganismos, também estamos liberando o C (Figura 4). Como podemos observar na Figura 4, em geral, os combustíveis fosseis não estão em contato direto com a atmosfera. Logo, eles não estão em equilíbrio com o teor de CO_2 que existe na atmosfera nas condições naturais. Mas, o homem mudou tudo isto quando começou a retirar em grande quantidade, a partir da revolução industrial, carvão e petróleo do subsolo e queimar para geração de energia.

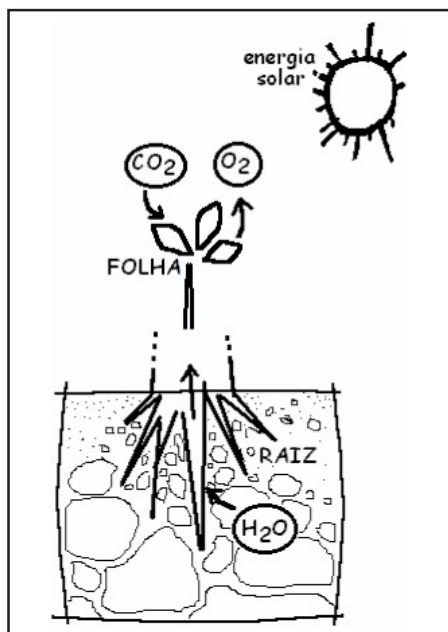


Figura 3. Fotossíntese dos vegetais.

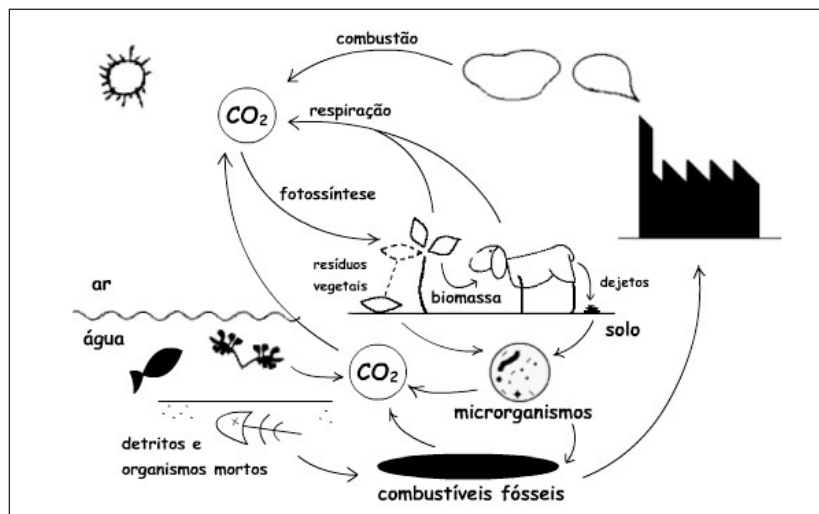


Figura 4. Ciclo do carbono.

Você deve estar pensando: O que ocorre quando o homem utiliza álcool e biodiesel vindo das plantas? Bem, neste caso estamos retornando a atmosfera o C que foi recentemente retirado pela cana-de-açúcar ou outras leguminosas, fechando assim o ciclo. Logo, o uso de álcool e biodiesel em substituição aos derivados do petróleo são muito mais sustentáveis a nível ambiental que, daí o grande investimento nestas fontes no momento.

O professor deve estar ciente da importância de informar aos alunos que somos parte da cadeia do carbono (Figura 4) e que estamos sempre intervindo no ciclo do mesmo. Conhecendo esse ciclo, o aluno terá condições de entender os problemas de poluição (efeito estufa), a importância ambiental das florestas e de sua preservação, o sol como fonte primária de energia ao planeta e a planta como transformador de luz e minerais em alimento para todos os seres vivos (fotossíntese). A decomposição possibilita a reutilização dos nutrientes e, no caso específico do CO_2 , significa a renovação do ciclo do carbono através da sua reutilização no processo de fotossíntese.

4. NUTRIENTES NO SOLO

Vamos recordar um pouco das aulas de química? Você deve estar lembrado que, quando adicionamos sal de cozinha (NaCl) na água, o sódio (Na) e o cloro (Cl) se separam nos íons Na^+ e Cl^- , isto é, dissociam-se em elementos com carga positiva (Na^+) chamados de “cátions”, e elementos com carga negativa (Cl^-), chamados de “ânions”.

Também é interessante lembrar da famosa frase “cargas opostas se atraem”, como no exemplo do sal de cozinha, onde o Na^+ (positivo) e o Cl^- (negativo) se ligam para formar a molécula do sal (NaCl).

Outro exemplo é dos experimentos com eletricidade nas aulas de química, onde um fio ligado a um pólo positivo e outro em um pólo negativo de uma bateria, quando colocados em água que contém Na^+ e Cl^- , o pólo positivo atrai o Cl^- , e o negativo, o Na^+ , ou seja, novamente, cargas opostas se atraem.

Reação similar ocorre com a maioria dos adubos adicionados no solo. O solo contém água que é chamada de “solução do solo”. Quando entra em contato com a solução do solo (água), o adubo se dissolve formando cátion (cargas positivas) e ânions (cargas negativas). Uma parte desses cátions e ânions do adubo fica na solução do solo, da mesma forma que o sal de cozinha fica dissolvido num copo com água.

Conforme visto no capítulo de composição do solo, as partículas minerais e orgânicas do solo apresentam cargas negativas e positivas, que retêm em sua superfície os nutrientes que foram adicionados no solo com o adubo.

Todavia, esses nutrientes não ficam retidos para sempre. Normalmente, as plantas absorvem os nutrientes que estão dissolvidos na solução do solo, de forma que, com o passar do tempo, os nutrientes da solução vão-se acabando. Então os nutrientes retidos pelos minerais e matéria orgânica vão sendo liberados aos poucos para a solução do solo, tornando-se disponíveis para as plantas (Figura 5).

A quantidade de cargas varia de solo para solo. Solos que mostram alta quantidade de cargas retêm maior quantidade de nutrientes, que servirão de reserva para as plantas. Dessa forma, quanto mais cargas o solo contém, maior será a sua capacidade de reter os nutrientes aplicados como fertilizantes. Além disso, quanto mais o solo reter, menores serão as perdas de nutrientes através da lixiviação, que é a lavagem (perda) dos nutrientes do solo através de movimento descendente da água até alcançar o lençol freático (Figura 5).

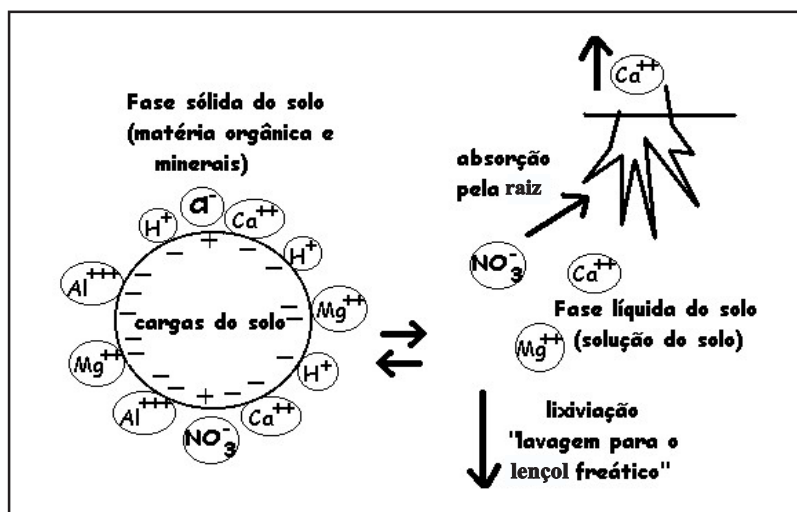


Figura 5. Nutrientes no solo e absorção pela planta.

5. ACIDIFICAÇÃO E PERDA DE NUTRIENTES DO SOLO

Quando falamos sobre acidez, lembramos de pH. A acidez é representada pela concentração de íons hidrogênio (H^+) existente em uma solução, ou seja, seu pH. Quando

um solo é ácido, significa que seu pH é menor que 7 e, quando é alcalino, seu pH é maior que 7. Solos muito ácidos podem conter poucos nutrientes e grande quantidade de elementos tóxicos às plantas, sendo o alumínio (Al^{3+}) o mais freqüente, prejudicando o seu crescimento (Figura 6).



Figura 6. Efeito do pH e do alumínio sobre o crescimento das plantas.

A maioria das plantas cultivadas cresce melhor em solos levemente ácidos, com pH entre 5,5 e 6,5. Quando o solo é ácido, com pH inferior a 5,5, a produtividade das culturas cai acentuadamente. Para corrigir a acidez excessiva, aplicamos corretivos como o calcário. Assim, conseguimos atingir o pH ideal para o crescimento das plantas e eliminamos o alumínio para não causar toxidez a elas.

No item 4, falamos sobre as cargas do solo, bem como sobre a lixiviação (perda) dos nutrientes. Bem, quando a água (H_2O) da chuva infiltra no solo, está ocorrendo adição de íons H^+ , uma vez que o pH da água da chuva normalmente é inferior a 7,0. Esses íons H^+ podem “retirar” os nutrientes que estão retidos nas cargas do solo (existentes nos minerais e matéria orgânica), “trocando” de lugar com eles. Assim, os nutrientes são deslocados para a solução do solo. Quando os nutrientes da solução do solo não são absorvidos pelas plantas, e como não estão retidos por nenhuma carga (estão “livres”), eles podem ser perdidos por meio da lixiviação.

A lixiviação é simplesmente a perda dos nutrientes em solução na água das chuvas que infiltra no solo. Até onde essa água vai? Até os lençóis freáticos, que irão liberar água lentamente para formar lagos e rios e que chegarão até o oceano.

Uma prova de que os nutrientes são lavados é a composição química da água mineral, que contém os nutrientes lavados do solo (Quadro 1). Cada água mineral tem composição variada, dependendo do solo e geologia da região. Como você pode ver os rótulos da água mineral contem, entre outros parâmetros, a concentração dos cátions mais abundantes: Ca, Mg, K e Na.

O Quadro 2 mostra alguns dados de análise química de um solo muito “lavado” e acidificado (solo velho) e de um solo menos “lavado” (solo jovem), originados de uma mesma rocha (basalto). Podemos observar que o Ca^{2+} , Mg^{2+} e o K^+ estão em menores quantidades no solo velho (muito intemperizado) do que no solo jovem (pouco intemperizado). Ao contrário, a acidez e os teores de Al^{3+} são maiores no solo velho (muito intemperizado), do que no solo jovem (pouco intemperizado). Isso ocorre justamente porque o solo velho

Quadro 1. Composição química da água mineral de diferentes regiões

Região	pH	Parâmetros químicos			
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺
		mg/L			
Próximo Curitiba – PR	8	32	12	0,4	1,2
Próximo Curitiba – PR	7	25	14	0,9	1,4
Cascavel - PR	5	0,3	0,1	0,1	0,2
Bauru – SP	9	3,2	1,2	1,5	17,0

Quadro 2. Fertilidade de dois solos do sudeste do Paraná de acordo com o intemperismo

Amostra	pH	Parâmetros químicos					
		Al ³⁺	H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
		cmol _c /kg					
Solo pouco intemperizado	7	0	1	22	6	1,0	0,1
Solo muito intemperizado	4	5	17	1	0	0,1	0,1

Fonte: LIMA et al. (1984).

passou durante um tempo maior pelo processo de intemperismo, ou seja, pelo seu “envelhecimento”. Isso significa que existe um tempo maior de acidificação e perda de nutrientes. No solo jovem, como esse tempo de envelhecimento (intemperismo) é menor, ainda existem nutrientes, e sua acidificação é menor.

E o que ocorre com Ca²⁺ e Mg²⁺? Estes elementos formam compostos que são pouco solúveis em água e, quando chegam aos oceanos, acumulam-se no fundo (depositam) ou são absorvidos pelos organismos, formando conchas e corais. Um bom exemplo destes compostos são os carbonatos de Ca e Mg (CaCO₃, MgCO₃), parentes dos bicarbonatos de Na (NaHCO₃), usados contra a acidez do estômago. Esses compostos se acumularam no decorrer de milhões de anos no fundo de mares e lagos, formando os depósitos de calcários e mármore. Essas rochas, após moídas, são novamente utilizadas no solo para a correção da acidez (Figura 7).

É possível, então, verificarmos que na natureza os elementos fazem parte de ciclos, onde são perdidos e retornam ao solo. O Ca²⁺ perdido do solo há milhares de anos retorna na forma de corretivo da acidez. Esse Ca²⁺ será absorvido pela planta, onde irá fazer parte de seus tecidos. Quando nos alimentarmos da planta, o Ca²⁺ passará a fazer parte de metabolismos do nosso organismo, como a formação dos ossos, por exemplo. Assim, na natureza nada é perdido sendo todos os elementos reaproveitados.



Figura7. Mina de calcário no município de Colombo, Paraná.

6. ORIGEM DOS ADUBOS

Ao contrário do que muitos pensam, os solos do Brasil apresentam, em geral, baixa fertilidade. Baixa fertilidade? Sim! Os solos brasileiros são solos muito intemperizados, ou seja, solos velhos, que sofreram lixiviação de nutrientes e acúmulo de elementos tóxicos. Contudo, temos boas condições de clima na maior parte de nosso território, onde podemos cultivar mais de uma cultura por ano a céu aberto (Figura 6), fato impossível em clima temperado, onde o intenso frio mata as plantas ou inibe o crescimento.

Todavia, existem em nosso País regiões com solos de média a alta fertilidade natural, como parte do centro-sul do Brasil, com solos originados de basalto, e interior do nordeste, onde o clima seco com poucas chuvas resulta em menor lixiviação de nutrientes (perda) e pouca acidificação.

Para produzir mais, temos de melhorar a fertilidade do solo, via adição de adubos e calcários. Mas, muitas pessoas acham que não é conveniente utilizar fertilizantes (adubos químicos), por se tratarem de compostos não-naturais, que diminuem a qualidade dos alimentos e poluem a natureza. Assim, vamos aqui discutir um pouco sobre os adubos e os possíveis problemas decorrentes de seu uso.

O que acontece com o Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} perdidos através da lixiviação? Bem, certamente que a alta concentração de Na^+ nos mares e oceanos está relacionada com essas perdas. O sódio hoje existente nos oceanos e mares veio em sua maior parte do solo. Sabemos também

que K^+ e Na^+ precipitam com o Cl^- quando ocorre a secagem de lagos e mares, formando depósitos de KCl e NaCl. Atualmente, esses depósitos de KCl são explorados na fabricação do adubo cloreto de potássio (KCl), que é um dos mais usados na agricultura em todo o mundo (Figura 8).

Os adubos que contêm fósforo também são em sua maioria originados de deposição desse elemento em sedimentos, lagos e mares, assim como ocorre com o calcário. Atualmente, existem no mercado rochas sedimentares apenas moídas, chamadas de fosfatos naturais $[Ca_3(PO_4)_2]$, que vêm sendo muito empregados na agricultura orgânica e convencional (Figura 8).

Desta forma, é possível concluir que os adubos (K e P) e os corretivos da acidez (que também são fonte de Ca e Mg) têm, em sua maioria, origem em rochas sedimentares, ou seja, fontes naturais. Estas rochas são simplesmente moídas ou tratadas quimicamente para a produção dos adubos.

Os adubos nitrogenados (N) são produzidos de maneira diferente, e, em sua maioria, sintetizados a partir do N_2 (do ar), H_2 (do gás natural ou carvão) e CO_2 (subproduto da indústria do petróleo). A uréia sintetizada é o adubo mais comum de N utilizado pelos agricultores (Figura 8). Contudo, a uréia também é uma das formas de excreção do N pelos animais, sendo encontrada em abundância nos resíduos orgânicos, reforçando mais uma vez que grande parte dos adubos utilizados na agricultura são compostos encontrados na natureza ou semelhantes.



Figura 8. Calcário e adubos utilizados na agricultura.

Mas, na natureza, não apenas a aplicação de adubos fornece nutrientes às plantas. Existem também alguns organismos “auxiliadores”, na captação e absorção de nutrientes, do ar (N) ou mesmo das rochas que formam o solo, como é o caso de algumas bactérias que vivem no solo (ver detalhe no capítulo Biologia do Solo).

Esse fato é bom tanto para as plantas quanto para as bactérias, pois ao mesmo tempo que as plantas recebem o nitrogênio que as bactérias retiram do ar, as bactérias recebem compostos orgânicos que as plantas produzem. É uma troca de nutrientes, em que ambos os organismos se beneficiam. Esse processo é chamado de “fixação biológica do N”.

A simbiose com bactérias fixadoras de N é tão importante para algumas plantas, que, no caso da soja, por exemplo, não se fazem mais adubações nitrogenadas (adubos com N), de forma que todo o N de que a cultura necessita é fornecido pelas bactérias. É necessário, porém, que, antes de se plantar a cultura da soja, as bactérias (conhecidas por *Rhizobium*) sejam inoculadas na semente, através de um produto chamado inoculante.

Atualmente, o agricultor aproveita essa fixação de N, pensando também na próxima cultura. Assim, existem algumas plantas leguminosas de inverno (como o trevo, a ervilhaca, etc), que também fixam N através de simbiose com bactérias. Essas plantas são cultivadas no inverno e, em seu resíduo de cultura (palha, raízes, restos vegetais), fica parte do N que as bactérias fixaram. Esse N que fica no resíduo da cultura será liberado aos poucos para o solo, podendo ser aproveitado pela próxima cultura, a que será plantada no verão, como, por exemplo, o milho, que não faz simbiose com bactérias fixadoras de N. Esse processo é chamado de “adubação verde”, pois estamos aproveitando os nutrientes (“adubação”) que ficam nos resíduos de uma cultura (“verde”).

7. ADUBAÇÃO E PROBLEMAS AMBIENTAIS

Os adubos são a principal fonte de nutrientes para que as plantas cresçam adequadamente (Figura 9). Mas isso não quer dizer que não existam limites para a aplicação de adubos, sejam eles orgânicos ou minerais, ou que, quanto maior a aplicação de adubos, mais fértil será o solo, e maiores as produtividades. Um dos maiores problemas do uso



Figura 9. Comparação entre milho cultivado após 6 anos com (no fundo) e sem (na frente) uso de adubo mineral e orgânico, região de Castro Paraná.

excessivo de adubos está no descontrole do crescimento das plantas, decorrente principalmente do uso de N. Com muito N, as plantas crescem demais, ficando mais tenras (tecido mais “mole”) e menos resistentes ao ataque de pragas e doenças, obrigando os produtores a intervirem freqüentemente com o uso de agrotóxicos.

Outro efeito negativo do uso excessivo de fertilizantes está relacionado com a qualidade da água. Quando são utilizadas altas doses de adubos, o N e P podem ser perdidos do solo, acumulando-se em rios, lagos, baías e mares. Esse acúmulo gera excesso de nutrientes em ambientes aquáticos, favorecendo o crescimento de algas, processo conhecido como eutrofização. Como a população de algas aumenta muito, sua morte ocasiona consumo do oxigênio da água através da decomposição por microrganismos. Assim, animais aquáticos como os peixes não sobrevivem por causa da falta de oxigênio na água. Além disso, a proliferação dessas algas pode interferir na qualidade da água, com cheiro e sabor desagradáveis.

O uso de adubos orgânicos em altas quantidades também provoca contaminação nas águas. Atualmente, muitos países europeus têm grandes problemas com a produção em larga escala de suínos, bovinos e aves, sendo impostas por lei limitações ao uso de resíduos aplicados ao solo. Problemas com resíduos orgânicos também têm sido constatados com maior freqüência nos estados do Brasil, onde a produção de suínos é grande e, em muitos casos, o resíduo é despejado diretamente nos rios.

Diante de possíveis problemas ambientais causados pelo uso de adubos químicos e orgânicos, surge uma pergunta: Seria possível cultivar os solos sem aplicação de adubos? Muitos índios da região amazônica têm por hábito mudar a aldeia de local freqüentemente. Mas, voltam a se instalar no mesmo local após alguns anos, formando um solo escuro (rico em matéria orgânica) e muito fértil, sendo conhecido na região como “terra preta de índio”. Descobriu-se que a adição sucessiva de nutrientes vindos com as frutas, animais, palha, madeira da construção das ocas e outros foram os responsáveis pelo aumento da fertilidade do solo nestas áreas.

A população urbana continua fazendo a mesma coisa que os índios, porém em larga escala e de forma contínua. Assim, por meio do consumo de alimentos, os nutrientes se acumulam e são descartados como resíduos humanos, não voltando para o solo de origem, enriquecendo os ambientes próximos às grandes cidades (rios e aterros sanitários) e empobrecendo as áreas agrícolas (Figura 10).

O lógico seria retornar os nutrientes ao local de origem, fazendo com que não ocorra empobrecimento dos solos agrícolas e enriquecimento dos centros urbanos em nutrientes. Como fazer isso? Bastaria pegar os resíduos de esgoto tratado (onde são eliminados os agentes patogênicos aos seres humanos e animais), chamado de biossólido, e retorná-lo às áreas agrícolas de onde veio o alimento. O mesmo teria de ser feito com o resíduo orgânico contido no lixo urbano, através da compostagem desses resíduos.

No entanto, há dificuldade (custo e logística) de retornar os nutrientes exatamente ao mesmo local de onde foram retirados.

Os mesmos princípios devem ser considerados na criação de animais, sendo necessário o retorno do esterco ao local de produção dos grãos que os alimentaram. Além disso,

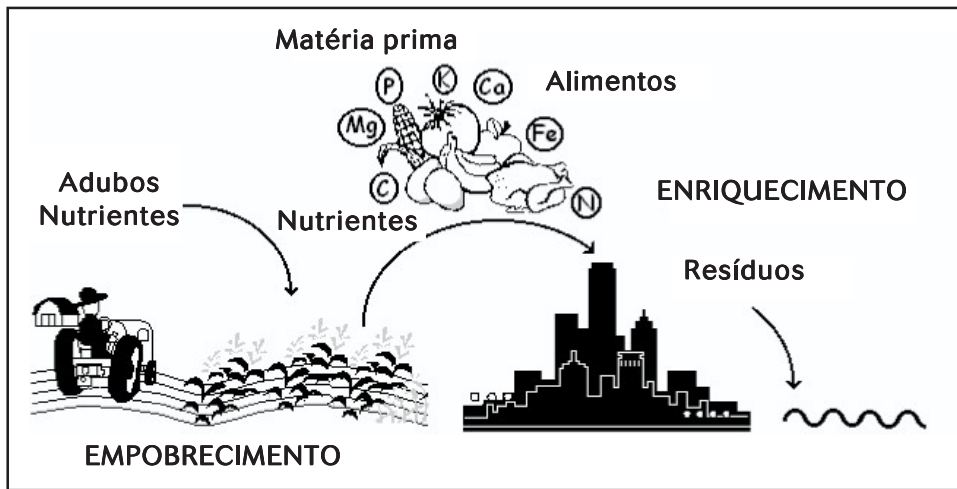


Figura 10. Enriquecimento e empobrecimento das áreas com os nutrientes necessários para a produção agrícola.

parcela de nutrientes sai da propriedade indo para os centros urbanos, na forma de leite, ovos, carne e derivados. Usualmente, os produtores importam alimentos de outras regiões para a criação de animais. Esses animais são criados confinados, isto é, em pequenos espaços cercados, fazendo com que exista um excedente de esterco e nutrientes, quando a área para aplicação dos dejetos é muito pequena na propriedade, ou mesmo quando a região abrange grande número de propriedades que fazem a mesma atividade, não permitindo que os dejetos sejam utilizados em áreas vizinhas.

Já existem leis, e outras estão sendo adotadas, a fim de regulamentar o uso de dejetos de animais na agricultura e estabelecimento de novas criações, proibindo uma concentração maior da atividade do que a capacidade de uso de dejetos na propriedade ou região. Em muitas partes do mundo, criadores de animais confinados vêm sendo obrigados a encerrar suas atividades, por não existirem mais locais onde possam ser aplicados os resíduos gerados.

Em outras palavras, o ser humano quebra o ciclo natural dos nutrientes. Esse ciclo natural é tão importante, que é capaz de manter, por exemplo, uma floresta Amazônica ou Atlântica em solos extremamente pobres. Muitos desses ambientes estão praticamente em equilíbrio quanto aos nutrientes, pois o que é perdido por lixiviação é adicionado via atmosfera (chuva e sedimentos) e pelo próprio solo, através da decomposição da matéria orgânica e do intemperismo das rochas.

As altas produtividades obtidas na agricultura com o uso de adubos permitem que o agricultor sustente maior número de pessoas na cidade. Logo, a sociedade atual depende desta alta produtividade agrícola para viver em cidades cada vez maiores. Por exemplo, um hectare (10.000 m² de área) pode produzir hoje 6.000 kg de grãos, ou equivalente para alimentar com arroz mais de 120 pessoas durante um ano.

Caso não ocorresse o aumento na produtividade com o uso de adubos químicos e calcários, existiria a necessidade de utilizar muito mais áreas para manter a mesma população. Hoje, para a exploração de novas áreas para a agricultura há necessidade de remoção de

florestas ou outros ambientes naturais, o que provoca danos ao meio ambiente, acentuando ainda mais a degradação ambiental.

Então, fica clara urgência de a sociedade discutir melhor a adubação, a produção de alimentos e a poluição ambiental, tendo em vista a importância da qualidade da água para a manutenção da vida no planeta. Ainda, a atuação de profissionais treinados como agrônomos é essencial no uso adequado de adubos e corretivos, evitando a contaminação ambiental.

8. ATIVIDADES PROPOSTAS

As atividades aqui propostas são sugestões e podem ser adaptadas de acordo com as necessidades e condições do professor e dos alunos.

8.1. Seguindo os Caminhos do Cálcio (Dramatização ou Jogral)

8.1.1. Materiais necessários

- Pacote de leite ou leite em pó ou derivados (ver teor de cálcio no rótulo)
- Garrafa plástica pequena de água (ver teor de cálcio no rótulo)
- Dente
- Casca de ovo
- Concha de ostra ou mexilhão
- Pedaco de osso
- Rocha (calcário)
- Calcário em pó ou cal
- Pacote de cenoura (ver composição - cálcio no rótulo)
- Vaso com planta

8.1.2. Atividades

Formar a seqüência do ciclo do cálcio simplificado (Figura 10), junto com os estudantes, de forma que eles compreendam a importância de cada elemento: 1) rocha a 2) calcário moído ou cal a 3) solo a 4) água a 5) planta a 6) animal a 7) homem.

8.1.3. Objetivos

- 1) Mostrar a interação entre os cinco componentes envolvidos no ciclo do cálcio (solo, água, planta, animal, homem);
- 2) Indicar a influência do homem sobre o ciclo dos elementos químicos;
- 3) Exercitar a curiosidade dos alunos sobre a composição química dos alimentos (rótulos).

8.1.4. Procedimentos

Um aluno ou grupo de alunos fica responsável por segurar e apresentar cada componente do ciclo do cálcio, de preferência na sequência de relação entre os elementos.

8.1.5. Exemplo

- 1) Rocha – Meu nome é calcário e sou uma rocha sedimentar formada da deposição do cálcio e magnésio perdidos do solo;
- 2) Calcário moído – Eu sou a rocha do calcário moído bem fininho. Os agricultores gostam muito de me aplicar no solo para fazer as raízes das plantas crescerem;
- 3) Solo – As chuvas por muito tempo levaram meu cálcio para o mar. Mas hoje estou contente, pois estou recebendo o cálcio de volta, na forma da rocha de calcário moída;
- 4) Planta – Estou muito satisfeita, pois consegui pegar muito cálcio do solo, depois que o agricultor aplicou o calcário;
- 5) Animal (vaca) – Este capim está delicioso e nutritivo. Meu dono jogou o calcário no solo. A planta se alimentou do cálcio e cresceu muito. Com isso eu também estou me alimentando do cálcio e posso produzir o leite que vai alimentar as crianças e meu bezerrinho;
- 6) Galinha – Meus ovos estão com a casca dura novamente, depois que eu comi o milho que tinha absorvido o cálcio do solo que recebeu o calcário;
- 7) Dente – Eu tenho de ser forte para não ser atacado pelos meus inimigos, as cáries. Para isso a mamãe está me dando muito leite, queijos, ovos, verdura e água, todos alimentos ricos em cálcio.

8.2. Para Onde Foi a Palha? (Ciclo do Carbono)

8.2.1. Materiais necessários

- Capim ou palha bem seco
- Leite em pó
- Açúcar
- Água
- Saco plástico

8.2.2. Atividades

Verificar a perda de peso, cor e consistência da palha quando é submetida à decomposição.

8.2.3. Objetivos

Mostrar a perda de peso de material orgânico via perda de carbono para a atmosfera na forma de gás carbônico (CO_2), por ação da decomposição pelos microrganismos.

8.2.4. Procedimentos

Pegar aproximadamente 500 g de palha ou capim seco, colocar em um saco plástico, adicionar uma colher de leite em pó e açúcar, e misturar bem. Pesar os sacos com palha, açúcar e leite, e anotar o valor. Umedecer levemente a palha misturada, fechar o saco e fazer alguns furos para a entrada e saída de ar. Colocar em local aberto, como um jardim, e deixar decompor. A cada semana, verificar para que não falte água. Após um mês, secar e pesar novamente o material. Verificar a perda de peso. Tente responder a seguinte pergunta: Como e para onde foi perdido parte do material orgânico do saco?

9. REFERÊNCIA

LIMA, J.M.J.C.; LIMA, V.C.; HOCHMULLER, D.P. Toposequência de solos no sudoeste do Paraná I. Características morfológicas, granulométricas e químicas. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v.6, p.51-61, 1984.

CAPÍTULO 6

BIOLOGIA DO SOLO

Jair Alves Dionísio¹
Jorge Ferreira Kusdra²
Eliana da Silva Souza Kusdra³

1. INTRODUÇÃO

Para facilitar o entendimento da biologia do solo, é de fundamental importância revisar o conceito de biologia, que é a ciência que estuda os seres vivos e as leis que os regem, sua evolução, bem como suas relações com o ambiente. Já o "solo", conforme apresentado no capítulo 1 (Formação do solo), é resultante da ação simultânea e integrada do clima e organismos que atuam sobre um material de origem (geralmente rocha), condicionado pelo relevo durante determinado período de tempo.

Considerando estas definições, é possível entender os fundamentos da biologia do solo, que é a ciência que trata das populações de organismos do solo, de suas funções, efeitos e/ou atividades e de sua importância para a nutrição vegetal e produção agrícola.

Ao observar uma paisagem no ambiente rural, é visível a presença do solo, destacado pelas diversas tonalidades que apresenta, muitas vezes evidenciado pelos cortes das estradas, especialmente nas posições mais elevadas do relevo.

No ambiente urbano, caracterizado pela ação antropogênica, parte do solo está coberta por casas, edifícios, hospitais, escolas e outros tipos de construções e outra parte, por calçadas, asfalto e calçamento. Dentro deste contexto, a presença do solo é praticamente imperceptível, sendo restrita aos espaços remanescentes (quintais, jardins, terrenos baldios, parques) e áreas ainda não utilizadas em obras civis ou públicas.

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Rua dos Funcionários 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mail: jair@ufpr.br

² Professor do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Acre. Rodovia BR 364, Km 04, Distrito Industrial. CEP 69915-900, Rio Branco (AC). E-mail: j.f.k@terra.com.br

³ Professora de Biologia do Ensino Médio e Especialista em Magistério Superior. Escola de Ensino Médio Glória Perez. Avenida Brasil, 85, CEP 69918-540, Rio Branco (AC). E-mail: elianakusdra@globo.com

Partindo do princípio de que no solo há vida, como fica evidente na sua definição, é de fundamental importância ressaltar que esta é extremamente diversificada, quando comparada entre os ambientes rurais e urbanos, e que a interferência do homem muitas vezes pode resultar na sua redução. Assim quando se compara um solo que está em área de cultivo agrícola ou florestal com um do ambiente urbano, coberto ou sob uma construção, é de se esperar que a vida neste último esteja drasticamente reduzida devido à deficiência nas condições nutricionais básicas para a sobrevivência e crescimento da maioria dos organismos do solo, que são: oxigênio, água e matéria orgânica. Dentre os organismos do solo (macro e microrganismos), destacam-se aqueles que são, provavelmente, os mais antigos do planeta, ou seja, as bactérias, cuja densidade pode atingir até um bilhão de células por grama de solo.

Os organismos do solo, na totalidade dos macrorganismos e a maior parte dos microrganismos, são seres heterotróficos, ou seja, incapazes de sintetizar seu próprio alimento. A maior parte dos microrganismos do solo age como decompositores de resíduos orgânicos (restos vegetais e animais) desdobrando-os em seus componentes básicos: água, CO₂ e minerais. Realizam este ataque (Figura 1) porque, para atender a suas necessidades nutricionais, precisam de vários elementos, especialmente de carbono (para formar novas células e tecidos) e de nitrogênio (para formar proteínas).

2. A FAUNA DO SOLO

Os componentes da biologia do solo, também denominados biota do solo, ou seja, os seres vivos que habitam o solo, para efeito didático são divididos em grupos, de acordo com o tamanho do corpo. Dessa forma, os organismos são classificados em dois grupos distintos: macrorganismos ou macrobiota do solo que incluem organismos pertencentes ao reino animal e microrganismos ou microbiota do solo que incluem os vírus e organismos pertencentes aos reinos monera, protista e fungi. Como exemplos de representantes dos macrorganismos, destacam-se os nematóides, moluscos, enquitreídeos, anelídeos (minhocas), artrópodes: aranhas (Figura 2), ácaro, centopéias, piolho de cobra, formigas (Figura 3), cupins (Figura 4), colêmbolas, besouros, etc. Já entre os microrganismos, destacam-se as bactérias, fungos, protozoários, vírus e algas unicelulares.

A fauna do solo é representada principalmente por animais invertebrados, os quais, segundo HOLE (1981), são categorizados de acordo com o tamanho em: a) megafauna (> 20 mm de diâmetro); b) macrofauna (20-2 mm); mesofauna (2-0,2 mm) e microfauna (< 0,2 mm). Grande parte dos invertebrados do solo alimenta-se de uma mistura de partículas minerais e de resíduos orgânicos presentes no solo. Outros sobrevivem como parasitas de plantas ou predadores de outros animais.

A importância da fauna do solo é destacada pela sua capacidade de fragmentação de materiais orgânicos, agindo diretamente sobre os resíduos (principalmente de vegetais) sendo capazes de reduzir o tamanho dos componentes e ingeri-los, sendo estes, posteriormente, digeridos, os nutrientes absorvidos e a fração não aproveitada excretada dentro ou na superfície do solo.

Com base em estudos qualitativos das populações de organismos da fauna solo, constatam-se serem elas muito variadas; todavia a ocorrência relativa decresce, segundo Siqueira (1993), na seguinte ordem: nematóides > ácaros > colêmbolas > enquitreídeos > moluscos > minhocas > centopéias > larvas de dípteros > cupins = formigas = aranhas.



Figura 1. Folha em decomposição
(Foto: Sacha Lubow).



Figura 2. Aranha do solo
(Foto: Sacha Lubow).



Figura 3. Formigas do solo
(Foto: Sacha Lubow).



Figura 4. Cupim do solo
(Foto: Sacha Lubow).

Os animais do solo podem ser habitantes permanentes (minhocas), temporários (formas jovens de cupins, larvas e pupas de alguns besouros) ou acidentais (vermes intestinais de animais de sangue quente: cachorro, gato, porco, etc.).

Como meio para o crescimento, proliferação e sobrevivência dos organismos, o solo é um ambiente heterogêneo, descontínuo, estruturado e hierárquico (Quadro 1), no qual, de acordo com o diâmetro do corpo o organismo ocupa determinada localização. Partindo desse princípio, é possível entender que os animais do solo estão adaptados às mais diversas condições de sobrevivência, que para tal constroem aberturas no solo que servem de abrigo contra predadores, proteção contra a luz solar, variações de temperatura, movimentação, estratégia alimentar ou para assegurar a reprodução.

Dentre os exemplos mais comuns da ação da fauna do solo, destaca-se o papel das minhocas (Figura 5) cujos dejetos (coprólitos) contribuem para a melhoria da fertilidade e da estrutura do solo, seus túneis ou galerias construídas permitem maior aeração do solo e penetração das raízes das plantas, além de aumentarem a drenagem reduzindo a possibilidade de encharcamento do solo. Além disso, as minhocas contribuem para a melhoria da qualidade do solo pela mistura de elementos minerais e orgânicos e pelo transporte de solo subjacente para a superfície, e vice-versa.

Na construção das aberturas, o animal movimenta partículas do solo, especialmente aquelas que constituem a fração mineral fina (areia, silte e argila) e dos resíduos orgânicos. Estas aberturas, também denominadas agronomicamente macroporos, passam a ter significado expressivo, quando estão habitadas, pelo abandono, pelo surgimento de condições impróprias ou pela desocupação pela morte dos animais. Estas contribuem para aumentar a infiltração de água e a taxa de oxigenação, facilitam a penetração das raízes e dessa forma propiciam a melhoria do solo, nos aspectos físicos, químicos e biológicos, que se refletem no crescimento das plantas e produção das culturas.

As respostas da fauna do solo às perturbações ambientais são muito variáveis. Alguns dos fatores que as influenciam encontram-se no Quadro 2.

Quadro 1. Localização dos organismos do solo de acordo com tamanho

Localização	Organismo
Intramicroagregado	Bactérias
Intermicroagregado	Hifas fúngicas, protozoários, pequenos nematóides, raízes muito finas
Inter macroagregado	Nematóides e raízes finas
Agregado, macroporos	Microartrópodes, minhocas e raízes grossas

Fonte: Adaptado de JASTROW e MILLER (1991).

Quadro 2. Fatores que influenciam a fauna do solo

FATORES	PRINCIPAL EFEITO
Fertilizantes minerais	• Respostas são variáveis; • Nitrogênio tem efeito adverso; • Outros nutrientes são benéficos; • Microartrópodes (ácaros e colêmbolas) predominam em solos pobres
Matéria Orgânica	• Geralmente é benéfica; • Amônia e compostos fenólicos reduzem atividade
Queimadas	• Temperaturas elevadas (700-1.000 °C são prejudiciais; • Fogo tem efeito mais prejudicial em solos aráveis que em pastagens
Cultivo do solo	• Cultivo mínimo (plantio direto) favorece os ácaros, colêmbolas e minhocas; • Aração favorece os insetos
Agrotóxicos	• De maneira geral adverso
Metais pesados	• Exercem efeito adverso; • Acumulam-se nas minhocas

Fonte: SIQUEIRA e FRANCO (1993).

O uso de fertilizantes minerais e orgânicos e a consorciação (cultivo simultâneo de duas ou mais culturas, ex: milho e feijão) geralmente favorecem a fauna do solo, especialmente os microartrópodes: ácaros e colêmbolas (Figura 6), cuja população no solo pode atingir 25×10^4 animais por m^2 (CROSSLEY et al., 1992). Por outro lado, o uso de agrotóxicos, o cultivo intensivo do solo, a monocultura prolongada (ex: cana-de-açúcar) e as queimadas geralmente reduzem a diversidade e a densidade populacional dos organismos no solo.

Os animais microscópicos do solo (microfauna), representados principalmente pelos nematóides (filo nematódeo) e rotíferos (filo rotífera), são muito abundantes e exercem grande importância na cadeia alimentar e no equilíbrio biológico no solo. As interações biológicas entre os diferentes grupos de organismos são influenciadas basicamente pelo clima e pelo manejo do sistema solo-planta.

3. OS MICRORGANISMOS DO SOLO

Os microrganismos estão distribuídos em três dos cinco reinos dos seres vivos. As bactérias típicas (Figura 7) e outros dois tipos especiais de bactérias, as cianobactérias (bactérias fotossintéticas) e os actinomicetos (que muitas vezes assemelham-se morfologicamente aos fungos) pertencem ao reino Monera, que é constituído por todos os seres procariontes (que não apresentam membrana nuclear ou carioteca ou ainda que não apresentam núcleo individualizado, organizado ou diferenciado). Já os protozoários e as algas unicelulares eucariontes (que apresentam núcleo verdadeiro envolvido por carioteca) pertencem ao reino Protista e todos os fungos (Figuras 8 e 9) pertencem ao reino Fungi. Esses três reinos são, portanto, formados por organismos relativamente simples, na maioria unicelulares e microscópicos. Os vírus, embora considerados microrganismos, não estão incluídos em nenhum dos cinco reinos por existir divergência entre considerá-los ou não como seres vivos, especialmente por não serem constituídos por células, ou seja, são acelulares.

A maioria das pessoas pensa que todos ou pelo menos a maior parte dos microrganismos são prejudiciais e, por essa razão, seria altamente desejável que não existissem ou que fossem todos eliminados da Terra. Essa idéia é definitivamente falsa e errada e mesmo que a completa eliminação dos microrganismos fosse possível, seria eliminada também a possibilidade de vida no planeta, uma vez que nossa própria sobrevivência depende da existência deles. Embora, existam muitos microrganismos prejudiciais (responsáveis por doenças no ser humano, outros animais e plantas, deterioração de alimentos, etc.), seu número é na verdade extremamente pequeno se comparado aos que são de alguma forma benéficos (responsáveis pela decomposição de resíduos orgânicos e reciclagem de nutrientes, de interesse agrícola, industrial e farmacêutico, etc.). Na realidade, das milhares de espécies microbianas existentes, poucas são prejudiciais. Entretanto, a existência de espécies prejudiciais, especialmente patogênicas, cria na maioria das pessoas a falsa impressão de serem todos os microrganismos prejudiciais.

Portanto, quando se fala em microrganismos, a primeira associação que é feita com as doenças, principalmente, nos humanos e nos animais domésticos, o que não está errado, uma vez que uma rápida observação no histórico da microbiologia permite entender que os primeiros microrganismos estudados estavam relacionados com as doenças humanas, causadas especialmente por bactérias e vírus.



Figura 5. Minhoca brava (*Amyntas* sp.)
(Foto: Sacha Lubow).



Figura 6. Colêmbolas no solo
(Foto: Sacha Lubow).

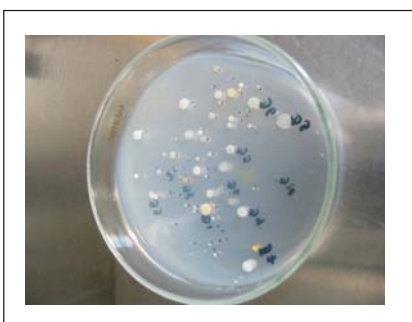


Figura 7. Bactérias do solo em
meio de cultura.



Figura 8. Fungo no solo
(Foto: Sacha Lubow).



Figura 9. Fungos em meio de cultura.



Figura 10. Presença de nódulos na
raiz (Foto: Beatriz Mont Serrate).

Durante a "Segunda Guerra Mundial", houve grande avanço da microbiologia, onde o campo da microbiologia do solo desenvolveu-se de acordo com a necessidade de tratamento de elevado contingente de feridos e das infecções desenvolvidas. Neste caso, o solo funcionou como suporte de pesquisa, de onde foram isolados os primeiros microrganismos produtores de antibióticos. Dentre eles, podem-se citar: *penicilina*, dos fungos; *neomicina* das bactérias; *estreptomicina*, dos actinomicetos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002). Além disso, as informações que a mídia destaca com maior intensidade são casos relacionados com a infecção hospitalar,

decorrente do aumento da resistência dos microrganismos aos antibióticos, dificultando o controle de doenças que até então eram facilmente controladas, como é o caso da tuberculose. Mais recentemente, grande destaque foi dado ao potencial de uso de microrganismos patogênicos como arma biológica, constituindo o "bioterrorismo". Na atualidade, destaca-se a bactéria nativa do solo, *Bacillus anthracis*, que parasita o gado bovino, ovelhas, cabras e outros animais herbívoros, causando uma doença conhecida como antraz ou carbúnculo, que pode ser fatal para o ser humano.

Em que pese o papel negativo dos microrganismos como responsáveis por doenças no ser humano, outros animais e plantas, como agentes responsáveis por deteriorações em alimentos e por estragos nos mais variados tipos de materiais suas atividades benéficas, são, sem dúvida, de maior importância embora dificilmente divulgadas na mídia com o mesmo destaque. Como exemplos, destacamos: a) o que ocorre com as toneladas de restos de culturas como milho, soja e trigo, assim como com os resíduos da indústria madeireira (pó de serra), deixados no solo? b) o que acontece com os diferentes tipos de rejeitos lançados no ambiente? c) o que dizer das toneladas de agrotóxicos utilizados na agricultura para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas? d) como o solo se "livra" do petróleo e de outros produtos químicos provenientes de derramamentos acidentais, que contaminam o ambiente, atingindo os rios e os mares? e) como ocorre a descontaminação do solo de diversos tipos de poluentes industriais?

De forma simplificada, é possível dizer que todos esses casos citados e muitos outros só continuam acontecendo na natureza mediante a decomposição, principalmente biológica, mediada pelos microrganismos do solo, que impedem o acúmulo no ambiente de elementos, substâncias ou produtos nocivos ou prejudiciais, que, caso contrário, cobririam a superfície do planeta, impedindo a possibilidade de vida. Além disso, ao realizarem o processo de decomposição biológica, os microrganismos asseguram também a continuidade da ciclagem de muitos nutrientes fundamentais à existência e manutenção da vida.

4. OCORRÊNCIA DOS MICRORGANISMOS DO SOLO

É de fundamental importância lembrar que na definição de solo, está destacada a participação dos organismos, incluindo, portanto, a presença dos microrganismos. Pela quantidade e diversidade de microrganismos e animais invertebrados que habitam o solo, não seria exagero considerá-lo, do ponto de vista biológico, como sendo "um organismo vivo". Também não seria exagero considerar que, do ponto de vista agrícola, "só existe solo se nele estiver vida" e que, sendo assim, "não existe solo estéril (sem vida)". Assim o solo não é uma massa inerte e sem vida, mas, sim, um sistema complexo e dinâmico, repleto de vida e onde ocorrem inúmeras interações biológicas. Em situações adversas como na região do nordeste do Brasil, nas áreas em processo de arenização no município de Alegrete (RS), ou no deserto do Saara na África, onde a temperatura do solo atinge facilmente os 60 °C, mesmo assim há vida, ou seja, milhões de microrganismos estão adaptados a essas condições e proliferam nesse ambiente.

Os microrganismos estão presentes em todos os tipos de solo que ocorrem na natureza que vão desde os solos mais profundos, como é o caso dos Latossolos, e até mesmo nos

Neossolos. Nos solos de clima tropical, subtropical e temperado como na Sibéria, ou até mesmo nos solos da Antártida, existem microrganismos, porém, quanto mais baixa for a temperatura, menor será a atividade microbiana.

Agora cabe uma reflexão, pois se os microrganismos são seres tão diminutos, sensíveis, como podem se instalar em ambientes tão inóspitos como as rochas, solos degradados, etc.? Primeiramente, deve-se lembrar que são seres microscópicos, extremamente leves, que são transportados pelas correntes de ar e pela chuva, e assim podem depositar-se na superfície das rochas, por exemplo. Além disso, normalmente os microrganismos pioneiros ou colonizadores são os dotados de metabolismo autotrófico (não necessitam de uma fonte de carbono orgânica disponível) que possuem grande autonomia nutritiva sendo capazes de sobreviver em condições impróprias para a maioria dos seres vivos. Dentre esses microrganismos, incluem-se muitas espécies de bactérias, de algas unicelulares e de líquens, que são associações simbióticas mutualistas entre determinadas espécies de fungos e algas. Esses microrganismos não somente são capazes de sobreviver em condições extremas, mas também de implantar vida em locais estéreis, criando condições ao estabelecimento de macro e microrganismos heterotróficos (necessitam de uma fonte de carbono orgânica disponível).

A ação específica dos microrganismos é fundamental para a formação do solo e pode ser evidenciada por meio de seus produtos, pois determinadas espécies de bactérias liberam no meio o ácido nítrico (HNO_3), enquanto os líquens liberam o ácido oxálico, e ambos aceleram a corrosão química do regolito para mais tarde formar o solo.

Uma análise rápida sobre a participação dos microrganismos na formação do solo leva a concluir que os microrganismos autotróficos são os formadores iniciais de matéria orgânica no solo, através dos seus metabólitos e de seus corpos (células). Porém, as células que morrem servem de alimento para outros microrganismos que ali se instalam e com isso dão início à colonização do solo ou à sucessão ecológica. Assim, na sequência surgem os microrganismos heterotróficos, representados pelas demais bactérias, fungos, actinomicetos e protozoários.

Porém, não dá para esquecer que esse processo de formação do solo é extremamente lento e que, para formar uma camada de 2,5 cm, são necessários de 200 a 1000 anos (DROZDOWICZ, 1997).

Os microrganismos ocorrem em todo o perfil do solo, porém a sua densidade e diversidade diminuem à medida que aumenta a profundidade. Assim, comparando a população de microrganismos num mesmo solo, na camada superficial (0-20 cm), com outra mais profunda (20-40 cm), podem-se esperar maiores densidades e diversidade na primeira, uma vez que nesta estão concentrados os maiores teores de matéria orgânica, nutrientes e oxigênio.

5. IMPORTÂNCIA DOS MICRORGANISMOS DO SOLO

Caso as funções dos organismos do solo fossem apenas as citadas anteriormente, já estaria justificado o estudo da biologia do solo. No estudo, destacamos a importância fundamental dos microrganismos no processo de decomposição, especialmente de resíduos

orgânicos, atividade esta indispensável à manutenção da vida no planeta Terra. Há, porém, entre os processos microbiológicos que ocorrem na natureza, dois outros que merecem destaque pela magnitude que representam, além de seus aspectos econômicos e ecológicos. São a fixação biológica de nitrogênio "FBN" e as Micorrizas.

5.1. Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)

A FBN ocorre entre plantas e microrganismos ou em microrganismos isolados, como é o caso das algas e algumas bactérias.

Para compreender a FBN, é preciso ressaltar que os vegetais necessitam, além do C, H e O, dezessete elementos químicos, denominados nutrientes minerais, que são retirados do solo, conforme descrito no Capítulo V (Fertilidade do Solo). Neste grupo, destaca-se o nitrogênio (N), como o mais exigido pela maioria das plantas, porém, o solo praticamente não apresenta reserva mineral, ficando a sua presença em explorações agrícolas condicionada à adubação orgânica e principalmente mineral.

No ar atmosférico que está em contato direto com os vegetais, o N ocorre em abundância, aproximadamente 78%, na forma de N_2 . No entanto, os seres eucariontes, como é o caso dos vegetais, não conseguem aproveitá-lo, por não possuírem sistema enzimático capaz de romper a ligação entre os átomos de nitrogênio. No entanto, alguns procariontes de vida livre (bactérias e algas), assim como algumas associações simbióticas mutualísticas, possuem a enzima nitrogenase capaz de reduzir o nitrogênio atmosférico à forma de amônia (NH_3), ou seja, fixá-lo e aproveitá-lo na formação de aminoácidos e proteínas.

Dentre as associações simbióticas, as mais desenvolvidas são as das bactérias da família Rhizobiaceae denominadas vulgarmente "rizóbios", com plantas leguminosas (soja, ervilha, tremoço, feijão, etc.).

Com grande potencial, porém, necessitando pesquisas, estão as associações entre bactérias dos gêneros *Azospirillum* e *Herbaspirillum* com plantas gramíneas (milho, trigo, arroz, etc.). Têm-se, ainda, as associações entre algas cianofíceas e pteridófitas, que precisam ser mais bem compreendidas.

Em relação às simbioses, é fundamental detalhar a principal delas (rizóbio e leguminosas). Neste caso, a bactéria simbiote entra em contato com a planta naturalmente, pois ela é habitante do solo, ou também, pode ser introduzida por inoculação artificial (uso de inoculante comercial), porém a condição básica para o estabelecimento da simbiose é a falta de nitrogênio no solo.

A simbiose ocorre com plantas herbáceas, arbustos e ervas. Em todas as simbioses, a associação rizóbio e planta inicia-se após a germinação das sementes, porém, quando se tratar de árvores e arbustos, estendera-se-á por todo ciclo da planta. No entanto, em ervas (feijão, soja, amendoim, etc.), chegará até à fase de enchimento dos grãos, quando então será desativada.

O que caracteriza a simbiose é a presença de uma estrutura organizada denominada "nódulo", visível a olho nu (Figura 10), que ocorre nas raízes das plantas e que contém milhares de rizóbio. Este fato pode ser facilmente constatado, mediante a coleta de plantas, tomando-se o cuidado de coletá-las juntamente com o solo, e separá-lo lentamente.

No Brasil, a inoculação da soja com o rizóbio propicia uma economia da ordem de US\$ 1,3 bilhão anuais em fertilizantes nitrogenados (SIQUEIRA e FRANCO, 1988). Na safra de soja 2002/2003 no Brasil, foram plantados 17.956.300 hectares (1 hectare = 10.000 m²) de soja e no PR, 3.545.300 ha. Da área total plantada 60% foram inoculadas com rizóbio e o restante sem uso de fertilizantes nitrogenados (Embrapa, 2004).

Além dos benefícios econômicos, a redução nas aplicações destes fertilizantes leva a uma melhoria da qualidade ambiental, com menor aporte de nitratos para as águas superficiais e subterrâneas.

A FBN é o segundo processo biológico mais importante do planeta (Quadro 3), é um recurso natural renovável e passível de manipulação, barato e sem impacto ambiental, que é responsável por 65% do N₂ incorporado nos seres vivos do planeta e que, se fosse interrompido, a vida do planeta terminaria em 30 anos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

Quadro 3. Fixação anual de nitrogênio atmosférico

Fonte de Fixação	Milhões de tonelada de N por ano
Industrial	49
Atmosférico e processos químicos	45
Fixação Biológica Total	175
Oceanos	36
Total dos Sistemas Terrestres	139

Fonte: Modificado de KEENEY (1982).

5.2. Micorriza

O termo micorriza vem do grego, em que mico = fungo e riza = raiz. É uma associação simbiótica mutualística na qual as raízes das plantas vasculares são invadidas por determinados fungos do solo, ocorrendo uma perfeita integração morfológica e funcional entre os simbiontes. Esta formação, porém, só é possível ser observada mediante preparações das raízes, com adição de corantes e observação ao microscópio.

Trata-se de uma simbiose praticamente universal, não só pelo grande número de plantas susceptíveis, como também por sua ocorrência generalizada na maioria dos habitats naturais.

São encontradas em 96% das fanerógamas (plantas que se reproduzem por sementes), incluindo quase todas as espécies de interesse agrônomo, pastoril e várias florestais, além de serem importantes para a composição florística e estabilidade dos ecossistemas naturais.

As pesquisas mostram que a presença de fungos micorrízicos no sistema radicular das plantas aumenta a absorção de nutrientes do solo, principalmente dos elementos minerais imóveis, como o fósforo. A maior absorção decorre do aumento da área superficial das raízes.

A formação da micorriza é particularmente importante para o desenvolvimento de árvores de Pinheiro (*Pinus*) e Eucalipto (*Eucalyptus*), dentre outros gêneros de plantas, que dependem dessas associações simbióticas para um bom crescimento. Para o *Pinus*, a associação com fungos é indispensável ao estabelecimento e desenvolvimento das plantas, ou seja, sem a formação da micorriza, o *Pinus* não sobrevive!

As plantas utilizam diversas estratégias de sobrevivência, conforme foi apresentado entre as associações (FBN e Micorrizas) descritas isoladamente, sendo comum a tríplice associação, quando se tratar de planta leguminosa, que se associa ao mesmo tempo com o rizóbio e com o fungo micorrízico.

6. REFERÊNCIAS

- CROSSLEY, D.A.; MUELLER, B.R.; PERDUE, J.C. Biodiversity of microarthropods in agricultural soils: relations to processes. **Agriculture, Ecosystems Environment**, v.40, p.37-46, 1992.
- DROZDOWICZ, A. Bactérias do solo. In: VARGAS, M.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina, Embrapa/CPAC. 1997. p.17-60.
- EMBRAPA SOJA. Sistemas de Produção 5: tecnologias de produção de soja - Paraná 2005. Londrina, 2004. Disponível em: < <http://www.cnpso.embrapa.br/> > Acesso em: 03/06/2005
- HOLE, F.D. Effects of animals on soil. **Geoderma**, v.25, p.75-112, 1981.
- KEENEY, D.R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F.J. (Ed.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: ASA, 1982. (Special Publication, 22).
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biologia e tecnologia do solo**. Lavras: Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1993. 236p.

CAPÍTULO 7

CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA DE SOLOS

Valmiqui Costa Lima¹
Marcelo Ricardo de Lima¹
Vander de Freitas Melo¹

1. POR QUE CLASSIFICAR OS SOLOS?

Classificar significa agrupar segundo determinados critérios. Por exemplo, uma turma de alunos pode ser classificada segundo o critério cor dos cabelos. Teríamos então grupos de cabelos loiros, pretos, castanhos, ruivos, etc. Classificar também é uma forma de organizar o conhecimento existente a respeito de alguma coisa. O ser humano tem a proveitosa mania de classificar. Exemplo disso são as classificações: de animais (zoológica); vegetais (botânica) e rochas e minerais (geológica).

É importante que os solos sejam classificados porque: a) Permite conhecer quais as qualidades e limitações dos solos de um Município, Estado ou País; b) Possibilita trocar informações técnicas entre as pessoas que usam ou estudam os solos; c) Permite prever o comportamento dos solos; d) Permite identificar o uso mais adequado.

Nos livros didáticos destinados ao ensino fundamental e médio, encontra-se, com frequência, expressões como solo calcário, solo húmico, etc. O que seria um solo calcário? Seria um solo derivado de uma rocha calcária ou com carbonato de cálcio em sua composição? No Brasil, os solos com essa constituição são pouco frequentes e restritos a regiões semi-áridas. No caso do termo húmico, a única coisa que se pode deduzir é tratar-se de solo que contém húmus, também de pouco significado ou valia, já que praticamente todos os solos contêm esse componente em maior ou menor quantidade. Além de causar confusão, a utilização indiscriminada desses termos em nada contribui para o conhecimento do solo.

As denominações, tais como: solos argilosos, solos arenosos, solos rasos, solos profundos, solos de mata, solos de campo, solos de granito, solos jovens, solos velhos, etc., também podem ser consideradas formas simples de classificação, em que se considera

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mails: valmiqui@ufpr.br; mrlima@ufpr.br; vanderfm@ufpr.br.

apenas um fator ou característica, como a profundidade, granulometria, tipo de vegetação, material de origem, ou idade. Por se fundamentar em uma única característica, essa forma de agrupar solos pouco nos revela a respeito das suas qualidades ou limitações para qualquer tipo de uso, seja agrícola ou não. É, no entanto, uma forma aceitável de iniciação ao estudo de solos, principalmente no ensino fundamental. É muito comum também os solos serem conhecidos por denominações locais, utilizadas na linguagem coloquial, tais como: massapê, terra roxa, chernozém e outras, mas que podem ser utilizadas para designar solos diferentes em cada região, e que não deveriam estar divulgadas em livros didáticos.

Contamos atualmente com o **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, no qual os solos são grupados em categorias segundo propriedades em comum e recebem denominações próprias e condizentes com o estágio atual do conhecimento científico, o que desaconselha a utilização de termos impróprios, superados e errôneos. Nesse sistema, os solos são classificados com base em propriedades que resultam dos processos de formação do solo, ou seja, do modo como foram formados.

2. COMO OS SOLOS SÃO CLASSIFICADOS?

Os solos são classificados com base em características e propriedades do seu perfil, conforme mostra a Figura 1. Com os dados obtidos, podemos enquadrar o solo em um sistema de classificação, atribuindo-lhe um nome.

A		DADOS DO LOCAL	Localização, situação e declive, litologia e formação geológica, material de origem, relevo, altitude, drenagem, vegetação primária, uso, etc.
B	⇒	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	Horizontes, espessura, porosidade, cor, textura, estrutura, consistência, raízes, etc.
C		ANÁLISES DE LABORATÓRIO	QUÍMICA pH, carbono, cálcio, magnésio, potássio, sódio, alumínio, hidrogênio, fósforo, etc.
PERFIL			FÍSICA Granulometria (areia, silte, argila), densidade, retenção de água, etc.
			MINERALOGIA Minerais primários (quartzo, feldspato, mica, etc.), minerais secundários (caulinita, hematita, goetita, etc.)

Figura 1. Principais propriedades e características utilizadas na classificação dos solos.

3. O SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS

O sistema de identificação, classificação e mapeamento dos solos do Brasil iniciou-se na década de cinquenta, culminando com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006). No Quadro 1, são listadas as 13 ordens de solo desse sistema.

Neste item, são relacionadas as 13 ordens de solo do Brasil e, de forma resumida, são dados o conceito, a região de ocorrência mais comum, além de algumas informações sobre as qualidades e limitações ao uso agrícola, como também discute-se o significado do ponto de vista ambiental e urbano.

Quadro 1. Classes do 1º nível categórico (ordem)

Classes (ordens)	Elemento formativo	Significado do elemento formativo	Termos de conotação e de memorização
Neossolo	neo	Do latim neo, que significa novo	Solo em início de formação
Vertissolo	verti	Do latim vertere, que significa inverter.	Solos com grande capacidade de contração e expansão. Grande número de fendas, quando seco.
Cambissolo	cambi	Do latim cambiare, que significa mudança	Solo com horizonte B em estágio inicial de formação
Chernossolo	chern	Do russo, significando cor preta	Solos com horizonte A escuro e rico em nutrientes (Ca, Mg, K)
Luvissolo	luvi	Do latim luvi, significando saturado	Elevada quantidade de nutrientes (Ca, Mg, K) e com acúmulo de argila no horizonte B
Argissolo	argi	Derivado de argila.	Solos com acúmulo de argila no horizonte B.
Nitossolo	nito	Derivado de nitidus, nítido	Solos com os agregados do horizonte B exibindo superfícies brilhantes
Latossolo	lato	Do latim later, que significa tijolo, pelo fato de que na Índia esses solos eram utilizados para fabricação de tijolos.	Solo muito intemperizados, velhos e profundos
Espodossolo	espodo	Do russo spodo, cinza	Solos muito arenosos com acúmulo de matéria orgânica e compostos de alumínio e/ou ferro no horizonte B
Planossolo	plano	Plano, solo de relevo plano	Solos com excesso de água e com horizonte B adensado
Plintossolo	plinto	Derivado de plintita	Presença de plintita (material rico em ferro)
Gleissolo	glei	Do russo, significando cor cinzenta	Solos com cores acinzentadas
Organossolo	organo	Derivado de orgânico	Altos teores de matéria orgânica

3.1. Latossolos

- a) **Conceito:** São solos profundos (Figura 2), bastante intemperizados (velhos e alterados em relação à rocha) e geralmente de baixa fertilidade. Ocupam normalmente topos de paisagens, em relevo normalmente quase plano. De maneira geral, são muito porosos, permeáveis e com boa drenagem. Podem ser originados a partir de diversos tipos de rochas (material de origem).
- b) **Ocorrência:** São solos que ocupam mais da metade do Brasil, encontrados em todos os estados do País.
- c) **Significado agrícola:** Suas características, tais como: boa profundidade, relevo quase plano, ausência de pedras, soltos, boa drenagem e permeabilidade fazem com que sejam dos mais utilizados na produção rural. Embora geralmente de baixa fertilidade, as práticas de adubação e calagem (ver o capítulo de fertilidade do solo) podem torná-los muito produtivos (Figura 3).
- d) **Significado ambiental e urbano:** De modo geral relevo quase plano, grande profundidade e alta permeabilidade são atributos que levam a considerar os Latossolos como de alta estabilidade e com baixo risco de erosão, tendo grande capacidade para suportar estradas, construções, além de ser local adequado para instalação de aterros sanitários.

3.2. Espodossolos

- a) **Conceito:** São solos muito arenosos com acúmulo no horizonte B de matéria orgânica e/ou ferro, provenientes dos horizontes superficiais do solo. Em alguns casos, este horizonte B pode ser duro e pouco permeável à água. Ocorrem em relevo plano (Figura 4).
- b) **Ocorrência:** Principalmente no noroeste da Amazônia e parte do litoral brasileiro.
- c) **Significado agrícola:** Considerando a grande quantidade de areia, esses solos apresentam baixa fertilidade, baixa capacidade de retenção de nutrientes e com excesso de água em épocas chuvosas, condições estas que os fazem de utilização agrícola esporádica. Em condições de manejo adequado, principalmente adição de materiais orgânicos, podem ser instaladas culturas, como coco, abacaxi e caju.
- d) **Significado ambiental:** Por serem arenosos, são extremamente frágeis e devem ser considerados como área de preservação. Graças à grande capacidade de infiltração e baixo poder de retenção de poluentes, o lençol freático pode ser facilmente contaminado por fertilizantes, agrotóxicos, e poluentes urbanos ou industriais. Embora possam suportar vegetação florestal, estas são nutridas principalmente pela ciclagem eficiente dos nutrientes (ver capítulo sobre fertilidade do solo).

3.3. Neossolos

- a) **Conceito:** São solos rasos em estágio inicial de evolução, apresentando mais comumente apenas horizonte A sobre o horizonte C ou a rocha de origem (camada R). (Figura 5).

- b) **Ocorrência:** Em todo o Brasil, ocupando preferencialmente relevos muito inclinados (Figura 5).
- c) **Significado agrícola:** Como principais obstáculos ao uso, podem ser citados o relevo declivoso, pouca espessura e presença de pedras. Podem ser de baixa ou alta fertilidade. Quando férteis, são muito utilizados. No caso de baixa fertilidade e relevos inclinados, os solos devem ser reservados para preservação da flora e fauna.
- d) **Significado ambiental e urbano:** Considerando as características já relatadas, constituem áreas extremamente frágeis. No caso dos Neossolos arenosos, a pequena capacidade de retenção de nutrientes e água é fator que limita sua capacidade de atuar como filtro de materiais poluentes. Devem ser evitados para ocupação urbana.

3.4. Cambissolos

- a) **Conceito:** São solos geralmente pouco espessos (rasos) e apresentam horizonte B ainda em um estágio inicial de formação (Figura 6). A fertilidade é bastante variável, podendo ser alta ou baixa, dependendo da rocha que lhes deu origem e do clima.
- b) **Ocorrência:** Em todo o Brasil, ocorrendo principalmente em relevos mais declivosos.
- c) **Significado agrícola:** São mais profundos comparativamente aos Neossolos. Quando férteis, são intensamente usados apesar do relevo e da eventual presença de pedras. Naqueles de baixa fertilidade, porém situados em relevo plano, a utilização de corretivos e fertilizantes torna-os produtivos.
- d) **Significado ambiental e urbano:** Usualmente os solos rasos em relevos inclinados tornam-se muito susceptíveis à erosão e aumentam o assoreamento dos rios. Essa situação é agravada quando, juntamente com o solo, são levados fertilizantes e outros produtos químicos, o que vai contaminar os corpos de água. Em situação de relevo declivoso e reduzida espessura, a opção mais recomendável seria destiná-los à preservação da fauna e flora ou pastagem. Ocupações urbanas neste tipo de solo representam problemas sanitários e de deslizamento, em decorrência do relevo e/ou reduzida profundidade do solo.

3.5. Argissolos

- a) **Conceito:** Apresentam acúmulo de argila no horizonte B e reduzida capacidade de reter elementos nutrientes de plantas no horizonte A (Figura 7).
- b) **Ocorrência:** Encontram-se praticamente em todos os estados brasileiros ocupando relevos moderadamente declivosos.
- c) **Significado agrícola:** Dependendo da rocha de origem, podem ser férteis ou pobres.
- d) **Significado ambiental:** São solos bastante susceptíveis à erosão, principalmente em relevos mais declivosos.

3.6. Nitossolos

- a) **Conceito:** São solos caracterizados pela presença de um horizonte B cujos agregados apresentam em sua superfície brilho característico (reluzente). Esse brilho pode

ser causado pela presença de argila vinda dos horizontes superficiais do solo em suspensão na água. Pertencem a essa ordem os solos anteriormente denominados Terra Roxa Estruturada (Figura 8).

- b) **Ocorrência:** Em todo o Brasil, com concentração principalmente nos estados do sul do Brasil.
- c) **Significado agrícola:** No Paraná, são, em sua maioria, de alta fertilidade. Em outras regiões podem ser muito pobres, porém, quando devidamente corrigidos e fertilizados, são muito produtivos.
- d) **Significado ambiental:** Quando em relevos ondulados e mal manejados, a erosão é inevitável.

3.7. Gleissolos

- a) **Conceito:** São solos que apresentam um horizonte de subsuperfície (B ou C) de cor acinzentada (horizonte glei) (Figura 9).
- b) **Ocorrência:** Em todo o Brasil, em regiões planas ou abaciadas (várzeas e banhados), nas quais há saturação por água.
- c) **Significado agrícola:** Uma vez drenados (retirada do excesso de água por meio de valetas ou canais), podem ser utilizados com agricultura. Geralmente, são de baixa fertilidade o que implica a obrigatoriedade de emprego de calagem e adubação.
- d) **Significado ambiental e urbano:** Dada a proximidade da superfície, o lençol freático pode ser facilmente contaminado por produtos químicos e fertilizantes utilizados na agricultura. A ocupação urbana destes solos é desaconselhada, pois são áreas com excesso de água e sujeitas à inundação.

3.8. Organossolos

- a) **Conceito:** São solos que apresentam elevados conteúdos de material orgânico (Figura 10). A grande quantidade de matéria orgânica é favorecida pelo acúmulo de restos vegetais em ambientes saturados por água (banhados). Em razão da falta de oxigênio, a decomposição é lenta, e se acumula matéria orgânica. Os altos teores de matéria orgânica fazem com que apresentem cores muito escuras (Figura 10).
- b) **Ocorrência:** Em todo o Brasil, em situação que permite saturação por água, tais como várzeas e banhados.
- c) **Significado agrícola:** Como são solos de banhados, devem ser feitas valetas para a saída do excesso de água (drenagem). Geralmente, são de baixa fertilidade e exigem grande quantidade de calcário.
- d) **Significado ambiental:** Quando drenados, ficam mais arejados e a matéria orgânica é decomposta pelos microrganismos. São, portanto, solos destinados ao desaparecimento, quando drenados e cultivados. Esse solo tem grande importância no meio ambiente por abrigarem fauna e flora específicas e funcionarem como verdadeiras esponjas na retenção de água proveniente das chuvas e das partes altas

do relevo. A proximidade a cursos de água e o lençol freático elevado tornam essas áreas facilmente contamináveis por agrotóxicos, fertilizantes e outros produtos químicos, assim como por qualquer tipo de lixo, doméstico ou industrial. Devem ser preservados, não sendo recomendável qualquer tipo de utilização, seja para atividades agrícolas, seja para local de moradia.

3.9. Planossolos

- a) **Conceito:** São solos que apresentam horizontes superficiais de textura mais arenosa sobre um horizonte B de constituição bem argilosa e adensado (Figura 11).
- b) **Ocorrência:** Como o nome sugere, os solos situam-se em relevo plano - baixadas, depressões ou várzeas - com restrição à saída de água, principalmente no Rio Grande do Sul, pantanal, e semi-árido do Nordeste.
- c) **Significado agrícola:** As principais limitações são o excesso de água e o impedimento à penetração de raízes pelo horizonte B adensado. São usualmente utilizados para pastagens ou arroz no Rio Grande do Sul e pantanal. Alguns destes solos têm elevados teores de sódio, que pode prejudicar as culturas.
- d) **Significado ambiental:** A ocorrência em locais favoráveis ao acúmulo de água potencializa a possibilidade de contaminação do lençol freático.

3.10. Plintossolos

- a) **Conceito:** São solos que apresentam segregação de ferro no horizonte B ou C, constituindo manchas de cores variadas (Figura 12).
- b) **Ocorrência:** Preferencialmente encontrados em regiões de relevo plano, em que há dificuldade de escoamento de água, como várzeas, depressões, etc. Grandes áreas desta classe de solo são encontradas na Amazônia e Centro-Oeste do Brasil.
- c) **Significado agrícola:** As principais condições que limitam o uso agrícola são o excesso de água e a baixa fertilidade. A retirada da água (drenagem) pode levar a um endurecimento da parte inferior do solo, criando dificuldade para a penetração de raízes e da água das chuvas.
- d) **Significado ambiental:** A retirada do excesso de água pode levar ao endurecimento da parte inferior do solo, o que altera sua condição natural em prejuízo da flora e fauna típicas dessas áreas.

3.11. Vertissolos

- a) **Conceito:** São solos cuja principal característica é a formação de fendas quando secos, por conterem muitas argilas com grande capacidade de expansão (quando molhadas) e contração (quando secas) (Figura 13).
- b) **Ocorrência:** Ocupam preferencialmente relevos planos (Figura 13), concentrados principalmente em algumas áreas semi-áridas do nordeste do Brasil, sudeste do Rio Grande do Sul, recôncavo baiano e algumas áreas do Pantanal.

- c) **Significado agrícola:** Embora sejam geralmente de alta fertilidade, o fato de serem muito pegajosos, quando úmidos, e muito duros, quando secos, são fatores que dificultam o uso de máquinas agrícolas, daí o fato de serem ocupados por pastagens. O processo de contração e expansão pode constituir impedimento à implantação de árvores em decorrência do possível rompimento do sistema radicular.
- d) **Significado ambiental e urbano:** A água das chuvas tem dificuldade de penetrar nesses solos e escorre pela superfície, causando erosão. Pelo fato de ocorrerem geralmente em depressões e próximos a corpos de água, esses solos constituem áreas ambientalmente fragilizadas. Além disto, a expansão e a contração das argilas do solo prejudicam a construção de casas, estradas e outras obras civis.

3.12. Chernossolos

- a) **Conceito:** São solos muito férteis e que apresentam um horizonte A escuro, rico em matéria orgânica e nutrientes de plantas (cálcio, magnésio, potássio). (Figura 14).
- b) **Ocorrência:** Encontrados em regiões com rochas ricas em cálcio, magnésio e potássio e condições climáticas que favorecem a presença de vegetação exuberante para a formação de um horizonte superficial rico em matéria orgânica.
- c) **Significado agrícola:** O relevo declivoso e a presença de pedras são sérios impedimentos à utilização de máquinas. A alta fertilidade faz com que sejam intensamente utilizados na agricultura, porém são relativamente raros no Brasil.
- d) **Significado ambiental:** Os relevos muito inclinados ocupados por esses solos denunciam áreas ambientalmente frágeis com grandes riscos de erosão e assoreamento de rios.

3.13. Luvisolos

- a) **Conceito:** São solos ricos em nutrientes (cálcio, magnésio, potássio) e acumulação de argila no horizonte B.
- b) **Ocorrência:** Ocorrem no Brasil em condições de climas mais secos. Quando situados em clima úmido, originam-se de rochas que são boas fornecedoras de nutrientes.
- c) **Significado agrícola:** Em regiões de clima semi-árido (nordeste do Brasil), esses solos podem apresentar grande quantidade de sódio, fazendo com que o solo fique muito duro dificultando a penetração de raízes, além de interferir no crescimento das plantas por dificultar a absorção de cálcio, magnésio e nitrogênio pela planta.
- d) **Significado ambiental:** De maneira geral, as áreas ocupadas pelo Luvisolos são ambientalmente muito frágeis, principalmente por causa do relevo declivoso ou da reduzida cobertura vegetal (caatinga), que os tornam muito susceptíveis à erosão.

4. REFERÊNCIA

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: 2006. 306p.

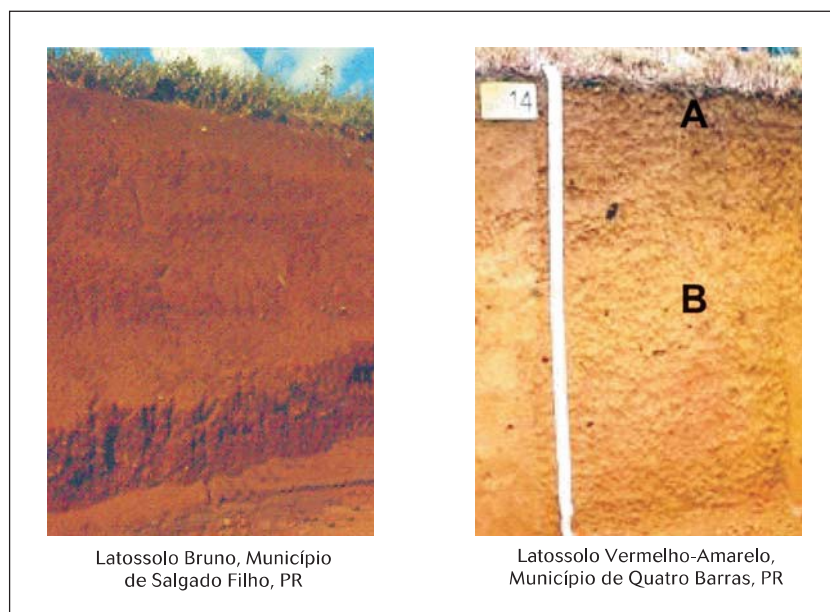


Figura 2. Perfis representativos de Latossolos.



Figura 3. Uso agrícola em Latossolo Vermelho, Município de Ponta Grossa, PR.



Figura 4. Perfis de Espodossolo, Município de Paranaguá, PR.



Figura 5. Perfil de Neossolo e paisagem onde ocorre, com vegetação natural de campo subtropical, Ponta Grossa(PR).

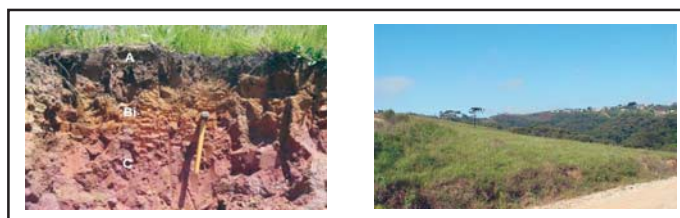


Figura 6. Perfil de Cambissolo e uso com pastagem e reflorestamento, Almirante Tamandaré, PR.

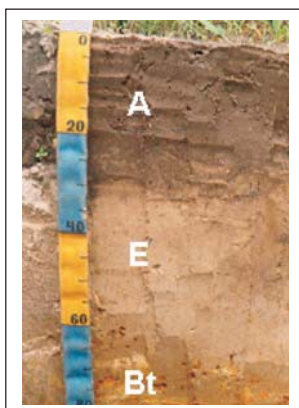


Figura 7. Perfil de Argissolo, Município de Piracicaba, SP.

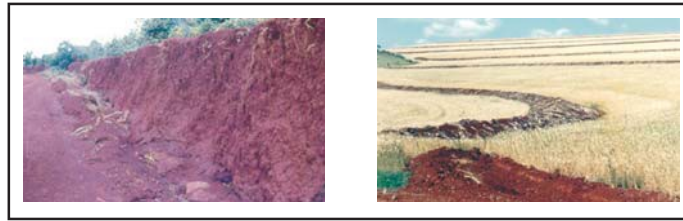


Figura 8. Perfil representativo de Nitossolo e uso agrícola, Município de Londrina, PR.



Figura 9. Perfil de Gleissolo e área que foi drenada para ocupação com pastagem, Município de Curitiba, PR.



Figura 10. Perfil representativo de Organossolo, Município de Curitiba, PR.



Figura 11. Perfil representativo de Planossolo, Município de Pelotas, RS



Figura 12. Perfil representativo de Plintossolo, Município de Alto Paraíso de Goiás, GO.



Figura 13. Perfil representativo de Vertissolo, ocorrência de fendas e paisagem típica desta classe de solo.

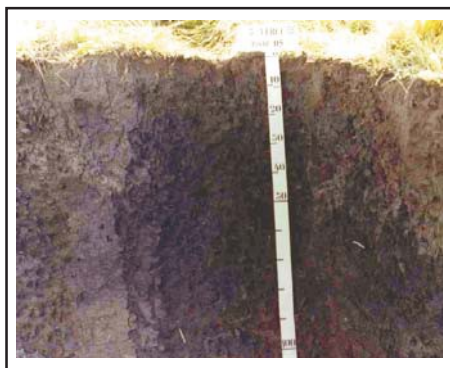


Figura 14. Perfil representativo de Chernossolo, Município de Bagé, RS.

CAPÍTULO 8

O SOLO NA PAISAGEM

Angelo Evaristo Sirtoli¹

1. INTRODUÇÃO

O recurso natural solo, encontrado em diferentes posições na paisagem, é formado pela ação do clima e dos organismos vivos agindo sobre o material de origem, ao longo do tempo.

A diversidade geológica e climática origina grande variedade de tipos de solos, em que variações a curta distância decorrem dos efeitos do relevo, condicionando os fluxos de água superficial (erosão) e subsuperficial (lixiviação, drenagem e oxirredução).

Os solos (unidades de paisagem), como são mapeados e descritos nos levantamentos, constituem os melhores estratificadores do ambiente (RESENDE & REZENDE, 1983), ou seja, sua posição na paisagem é resultado de uma série de fatores que proporcionaram o seu surgimento naquele local e, por consequência, apresenta características estreitamente relacionadas com determinada paisagem (Figura 1).

A formação das diferentes paisagens encontradas na superfície terrestre, tanto no aspecto de macrorregiões como de microrregiões, não revela um único fator formador, ou seja, as diferentes paisagens caracterizam-se pela ação conjunta dos diferentes fatores que atuaram e continuam atuando na formação destas, ou mesmo por variações de intensidade dos solos. A diferenciação das paisagens também pode ser relacionada com a fisionomia que estas apresentam podendo ser mais facilmente visualizadas e interpretadas em aerofotos, ortofotos e imagens de satélites orbitais.

Para RESENDE et al. (1999), a paisagem é a expressão resultante da atuação de fatores como o clima, solo, organismos e aspectos socioeconômicos. Na paisagem brasileira, é comum a descontinuidade acentuada de paisagem, correlacionada, em muitos casos, com a descontinuidade nas classes de solos.

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutorando, Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mail: asirtoli@ufpr.br

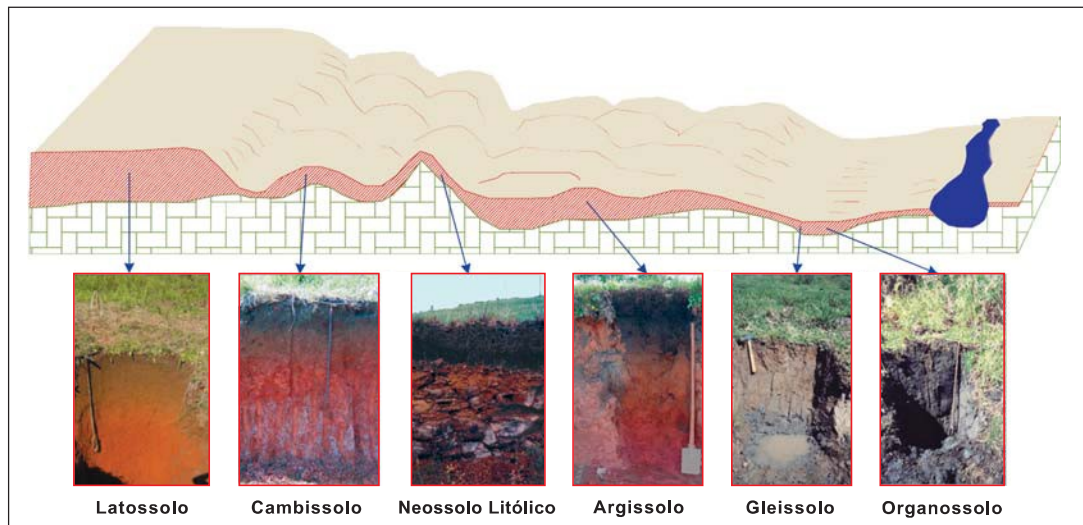


Figura 1. Seqüência de solos apresentando diferentes profundidades de acordo com seu desenvolvimento e posição na paisagem (Fonte: adaptado de RESENDE et al., 1999).

CREPANI et al. (1999) descrevem que a paisagem é produto da reação das rochas com o clima e da força da água em movimento sob a ação da energia solar. Ainda os mesmos autores ressaltam que os produtos relativos ao desgaste das rochas são levados encosta abaixo para os rios e/ou mar na forma de sedimentos, os quais poderão, num período muito distante, ser transformados em rochas novamente.

O Brasil, como um todo, está em franco processo erosivo, isto é, os rios estão-se aprofundando, o relevo está se acidentando e os solos estão se tornando mais rasos. Em outras palavras, a área de solos mais velhos - os Latossolos - está se reduzindo. Em locais onde as forças bioclimáticas são pouco intensas como numa região mais seca, ou a rocha for muito resistente, os solos mais velhos tendem a não existir e os imediatamente mais novos ocupam suas posições.

Numa mesma topografia, as profundidades do solo podem ser diferentes, dependendo da atividade do bioclima e da resistência da rocha e, quando estes fatores forem fixos, a profundidade depende do declive (RESENDE et al., 1999).

A modelagem da paisagem, e, por conseqüência, dos solos que nela ocorrem, pode ser condicionada por diferentes fatores, como água, geologia, clima, microorganismos, vegetação e relevo.

2. ÁGUA

Esse elemento físico constitui um dos mais importantes na modelagem da paisagem terrestre, interligando fenômenos da atmosfera interior e da litosfera. Interfere também na vida vegetal, animal e humana, a partir da interação com os demais elementos do seu ambiente de drenagem.

Dentre as múltiplas funções da água, destaca-se seu papel como agente modelador do relevo da superfície terrestre, controlando tanto a formação como o comportamento mecânico dos mantos de solos e rochas. As formas geométricas do relevo - convexas, côncavas e retilíneas, resultam da ação de processos erosivos e/ou deposicionais no tempo (Figura 2).

Observando a Figura 2, é fácil imaginar que o relevo côncavo favorece essencialmente a acumulação de água no solo, uma vez que o escoamento superficial se movimenta, perdendo gradativamente a velocidade. No relevo convexo, o escoamento superficial se movimenta ganhando velocidade, pois o gradiente aumenta da parte mais alta para a mais baixa do terreno. Portanto, os solos formados neste local são tanto menos desenvolvidos quanto mais acentuada é a declividade.

Na superfície horizontal de baixada, ocorrem essencialmente retenção e acúmulo de água. A água que esorre na superfície se acumula em virtude da ausência de gradiente (relevo plano), portanto, os solos apresentam cada vez mais caráter de hidromorfismo, ou seja, acumulação de água em seu perfil.

Na superfície plana, porém elevada, ocorre essencialmente diversificação hídrica unilateral, favorecendo a formação de solos mais evoluídos e não favorecendo a acumulação de água no perfil do solo.

Entre os topos e fundos de vales transitam sedimentos e diversos elementos detriticos ou solúveis, por meio de mecanismos associados às águas ou aos ventos em interação com forças gravitacionais (Figura 3).

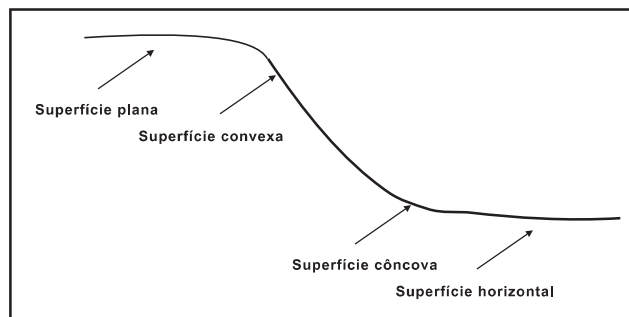


Figura 2. Diferentes formas geométricas do relevo.

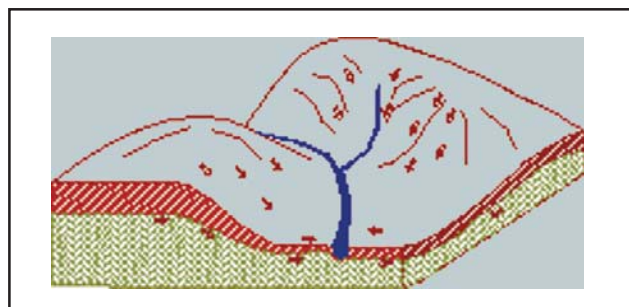


Figura 3. Bloco diagrama ilustrando a convergência dos fluxos das encostas para os fundos dos vales, em superfície e subsuperfície e através de canais de drenagem interconectados (adaptado de NETTO, 1995).

A rede de drenagem é um dos grandes fatores responsáveis pela modelagem da paisagem e apresenta-se atuante até os dias de hoje. Ao supor a superfície terrestre plana e, ao incidirem sobre ela precipitações com determinada frequência, será possível imaginar que o excesso desta água precipitada, que não penetrou no solo, tende a escorrer por esta superfície, buscando as partes mais baixas do terreno. Este processo contínuo e por longos períodos de tempo tende a favorecer a instalação de processos erosivos, tanto pelas áreas por onde escorrem como também no fundo dos canais de drenagem.

O volume de água encontrado no solo e o seu movimento no perfil dependem não só de determinadas propriedades do solo, como a porosidade, mas também do relevo e das condições climáticas. Em regiões com elevado índice pluviométrico, os solos são lixiviados pelo movimento de água para o interior dos mesmos pela ação da gravidade sobre o excedente da água interna, enquanto, em condições de seca, o movimento ascendente de água faz com que haja maior conservação dos produtos de intemperismo no solo (BIGARELLA et al., 1996).

3. ROCHAS

O material de origem influencia, até certo ponto, muitas das propriedades do solo, sendo sua maior influência nas regiões mais secas e frias e nos estádios iniciais do desenvolvimento do solo. Nas regiões mais úmidas, com o decorrer do tempo, outros fatores obscurecem a influência da rocha de origem (BIGARELLA et al., 1996.).

Os diferentes tipos de rochas podem apresentar maior ou menor resistência à intemperização, conseqüentemente aquelas que apresentam maior resistência tendem a promover uma paisagem de relevo mais inclinado, uma vez que os processos erosivos ocorridos na superfície são minimizados pela resistência da rocha. O contrário também é verdadeiro, ou seja, locais onde as rochas apresentam menor resistência, a paisagem é mais desgastada, aplainada.

Diferentes formações geológicas podem resultar em diferentes feições de relevo decorrentes dos distintos graus de resistência das rochas ao intemperismo e, por conseqüência, dos diferentes tipos de solos. O relevo resultante de cada tipo de rocha é resultado da ação de fatores como clima e organismos ao longo do tempo. De forma geral, as rochas mais resistentes ao intemperismo resultam em formações de relevo com cotas mais elevadas, enquanto os materiais menos resistentes formam as cotas mais baixas do terreno.

Além disso, é possível observar que diferentes materiais rochosos mostram distintas orientações na paisagem que resultam em conformações superficiais claramente orientadas, que denominam-se padrões. Por exemplo, no primeiro planalto paranaense, os diques de diabásio possuem orientação SE/NW, enquanto os corpos de quartzito têm orientação SW/NE, claramente visíveis na paisagem e, facilmente correlacionáveis aos solos que ocorrerem associados a eles. Estes materiais irão originar solos diferentes em diversas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas.

Pode-se concluir que, de um mesmo material de origem, dependendo das condições impostas pelos fatores de formação, reinantes ao longo de sua história, podem resultar em solos muito diferentes.

4. CLIMA

O clima, representado principalmente pela precipitação e temperatura, tem grande importância na formação da paisagem, visto que, nas regiões onde estas são mais intensos e freqüentes, os processos erosivos são destacados e, conseqüentemente, a modelagem da paisagem. De forma geral pode-se afirmar que as grandes variações climáticas ocorridas na superfície terrestre, durante o Quaternário ocasionaram grandes modificações da paisagem. Portanto, na formação do solo, deve-se considerar também a sucessão de mudanças climáticas que, no passado, podem ter sido superimpostas no desenvolvimento do perfil de solo.

As variações climáticas ocorridas são responsáveis pela ciclicidade da erosão. As épocas semi-áridas foram responsáveis pela elaboração de superfícies aplainadas, denominadas pediplanos ou pedimentos. As épocas úmidas promoveram dissecação (aprofundamento do nível de base). Das primeiras restam, na paisagem, apenas remanescentes formando ombreiras de inclinação pequena a média. Das épocas úmidas, encontram-se formas de vertentes mais íngremes.

A transição de um clima úmido para um clima semi-árido proporciona grande mudança da vegetação na superfície terrestre, ocasionada pela falta de água. O clima semi-árido, quando é intercalado por uma fase mais úmida intensa, provoca a ação de grandes processos erosivos do solo, promovendo o arraste total destes solos para as posições mais baixas da paisagem.

Este processo de variações climáticas não teve uma única ocorrência, mas, sim, vários ciclos ao longo do tempo, que contribuíram para a formação de grande parte das conformações do relevo terrestre que se conhece.

5. VEGETAÇÃO

As diferentes vegetações que ocupam a superfície terrestre estão de maneira geral relacionadas com as condições climáticas e com o solo. Solos de baixa fertilidade natural, bem como os pouco profundos, tendem a favorecer o desenvolvimento de uma vegetação adaptada a estas condições, ou seja, vegetação de pequeno porte e, dependendo das condições climáticas, gramíneas.

A densidade da cobertura vegetal presente nas diferentes unidades de paisagem é fator de fundamental importância na atenuação da ação dos processos erosivos. Desta forma, uma densidade de cobertura vegetal alta, proporciona paisagem de alta estabilidade aos processos erosivos. À medida que a densidade da cobertura vegetal diminui, aumenta-se a ação dos processos erosivos, atuando, conseqüentemente, na formação dos solos (CREPANI et al., 1999).

6. RELEVO

Segundo BIGARELLA et al. (1996), o relevo refere-se às desigualdades das formas da superfície do solo. Do ponto de vista topográfico, é representado pelas diferenças de cotas de um ponto a outro; do ponto de vista geomorfológico, constitui um termo descritivo; do ponto de vista edafológico, caracteriza os atributos de forma exterior da superfície do solo. O relevo desempenha papel importante e influencia grandemente os processos de formação dos solos, além de influir na drenagem interna e externa do solo, bem como modificando as condições microclimáticas locais onde o relevo se desenvolve.

O relevo relaciona-se com os demais fatores de formação do solo de forma interdependente e é esculpido segundo a ação dos fatores que atuam no desgaste e na remoção do material de origem. Ele se relaciona com o clima quanto à distribuição de energia, ao escoamento da água, à drenagem do solo, à exposição do solo à luz solar e ao vento (PRADO, 1995).

Três tipos de relevo são referidos: normal, subnormal e excessivo (Figura 4). O relevo normal relaciona-se com solos desenvolvidos pela ação conjunta de vários fatores pedogenéticos, sem a imposição de um deles sobre a ação dos demais; corresponde aos solos normais, representantes dos grandes grupos de solos (RANZANI, 1969).

O relevo subnormal indica solos desenvolvidos com a predominância de um fator pedogenético sobre os demais. Caracteriza solos com impedimento de drenagem, exibindo camadas impermeáveis, originadas nesse tipo de relevo, como no caso dos solos com caráter hidromórfico (solos de várzea, banhado), como os Organossolos e Gleissolos.

O relevo subnormal representa terrenos ligeiramente inclinados ou planos com deflúvio (escoamento da água na superfície) muito lento. A erosão sob a cobertura da vegetação natural é quase nula ou muito fraca. Os produtos do intemperismo, via de regra, acumulam-se no solo (RANZANI, 1969).

O relevo excessivo (escoamento maior que infiltração) é característico de solos mal desenvolvidos onde as ações pedogenéticas são pouco eficientes, como nos Neossolos Litólicos e associados. Esse tipo de relevo é característico de terrenos muito inclinados onde o deflúvio é rápido ou muito rápido. A erosão compromete a formação do solo, fazendo com que as perdas dos produtos de intemperismo ultrapassem as possibilidades de acúmulo e permanência, indispensáveis à gênese do solo (RANZANI, 1969).

No decorrer do tempo, o relevo sofre alteração pela ação dos ciclos de erosão nas porções mais altas e inclinadas e deposição nas baixadas. Essa ação condiciona a formação de solos menos profundos e jovens naquelas posições mais elevadas da paisagem, como Neossolos e Cambissolos.

A água da chuva encontra, no relevo mais aplainado, normal (deflúvio menor que infiltração) condições favoráveis para maior infiltração no solo, o contrário ocorre nas áreas com maior declividade. Nas porções mais baixas do relevo, em razão da má drenagem, ocorre um acúmulo de água e, como consequência, propicia condições para a formação de solos das classes dos Organossolos e Gleissolos.

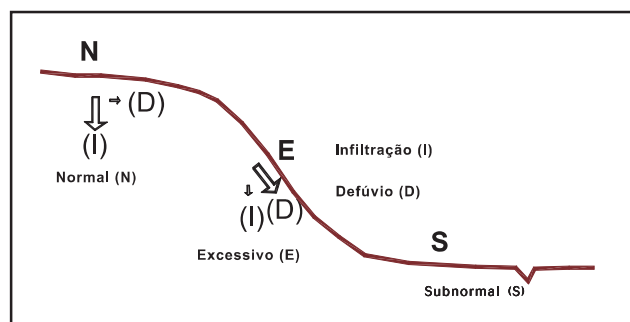


Figura 4. Tipos de relevo e razão de infiltração/deflúvio (escoamento superficial da água).

O registro do relevo é muito importante se ele é analisado junto com a vegetação original, pois estes dois elementos trazem muitas informações. Por exemplo, no sul do Brasil, o fato de ser o relevo plano e apresentar sobre ele uma vegetação exuberante, quase sempre indica que o solo é muito profundo. Ele, porém, poderia ser raso e plano, quando a deficiência hídrica fosse demasiado acentuada. Solo raso com relevo plano pressupõe que algum fator está impedindo o aprofundamento do perfil. Normalmente, esse pouco aprofundamento é condicionado pela deficiência de água, pela resistência da rocha ou porque o lençol freático, muito elevado, está retardando a pedogênese (RESENDE e REZENDE, 1983).

7. MAPEAMENTO DE SOLOS

Os solos representam o ambiente natural de crescimento e desenvolvimento de plantas e cada um exibe uma combinação particular de características internas e externas.

O reconhecimento, a identificação e a representação num mapa dos diferentes solos presentes na paisagem são importantes para o conhecimento e busca da exploração desse recurso de forma racional e menos impactante ao meio ambiente. Para tanto, há necessidade de traduzir as informações dos solos para mapas. Estes podem dar uma melhor visão da distribuição dos solos, bem como informar a expressão de cada unidade em termos de área.

O mapa de solos destina-se a ilustrar a distribuição de unidades de solos em determinada região. Estes são sempre acompanhados de uma legenda descritiva das unidades de mapeamento. Essa legenda identifica cada unidade de mapeamento por meio de um símbolo específico, o qual é repetido no memorial descritivo, que é um texto em separado.

Atualmente, quase todos os levantamentos de solos são feitos com auxílio de aerofotos e outros materiais, como mapas geológicos, mapas planialtimétricos, mapas geomorfológicos, mapas climáticos.

A técnica que utiliza aerofotos é chamada de fotopedologia, em que a paisagem é interpretada sobre pares de fotografias com auxílio de estereoscópio. Com auxílio deste instrumento, é possível a visualização da paisagem sobre as aerofotos em terceira dimensão.

Com relação aos aerofotos, o reconhecimento e a delimitação dos diferentes aspectos da paisagem (traduzidos em unidades de mapeamento) são executados seguindo as etapas descritas a seguir:

- a) exame de toda a área a ser levantada sobre as fotos, bem como de toda a informação disponível em forma de mapas pré-existent, cartas planialtimétricas, geológicas, fisiográficas, climáticas, etc;
- b) observação dos principais atributos da área (relevo, uso, drenagem, vegetação) e separação das diferentes unidades de paisagem, utilizando papel transparente previamente fixado sobre a fotografia ou digitalizando com o uso de um software de GIS;
- c) visita ao campo para melhorar as informações das condições do relevo, drenagem, vegetação, etc. Ao mesmo tempo, caracterizar morfologicamente os solos (aproveitando-se de barrancos de estradas e perfis que devem ser abertos) que ocorrem em cada unidade previamente separada, bem como coletar amostras para análises laboratoriais.

Esta visita serve para o estabelecimento de uma melhor correlação entre a interpretação já efetuada sobre a imagem e as características observadas no campo;

- d) reavaliação das unidades de solos previamente separadas com auxílio de estereoscópio ou no computador e, se necessário, redesenhar as unidades;
- e) confirmação das interpretações. Nesta fase, com auxílio dos dados morfológicos obtidos no campo e das análises laboratoriais, os solos são finalmente enquadrados segundo um sistema de classificação organizado em categorias ou classes que, na ordem de aumento do detalhe, são representados por: ordem, subordem, grande grupo, subgrupo, família e série baseado num sistema taxonômico organizado.

Para a identificação e separação das unidades de mapeamento por meio das fotografias aéreas ou ortofotos digitais, é de fundamental importância o entendimento das relações solo-paisagem, ou seja, conhecer como os solos ocorrem na paisagem.

A evolução tecnológica com o surgimento dos sistemas de informações geográficas (GIS) facilitou o trabalho de elaboração de mapas temáticos (solos, relevo, uso, vegetação) georreferenciados (posicionados em relação à superfície terrestre).

A seguir, são apresentadas (Figuras 5 a 10), imagens produzidas em ambiente SIG para facilitar o entendimento da relação solo paisagem.

Com relação aos produtos de SIG, foi executada a delimitação das unidades de mapeamento da fazenda Canguiri da UFPR. Este procedimento foi acompanhado de trabalho de campo para conferência dos limites e caracterização morfológica, bem como para coleta das amostras destinadas à caracterização analítica dos solos.

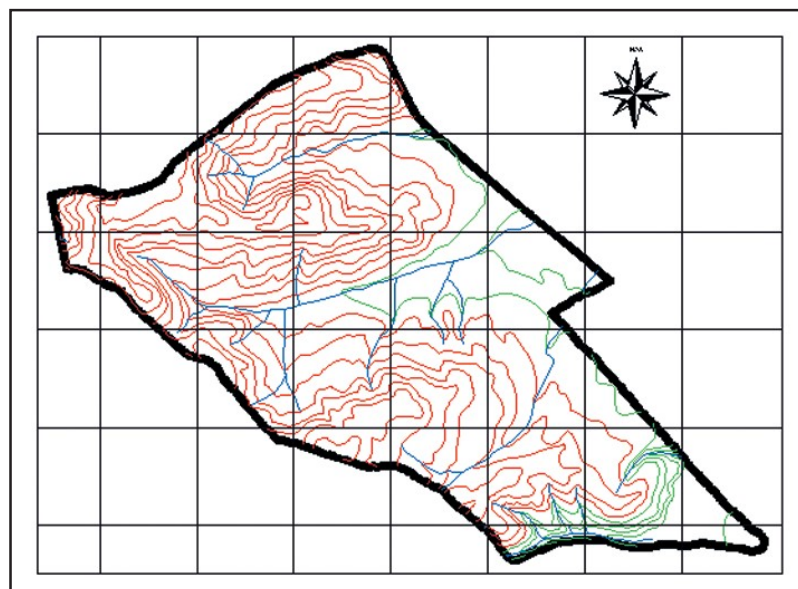


Figura 5. Distribuição das curvas de nível no perímetro da fazenda experimental da UFPR. As curvas representam a variação do relevo. As de cor verde encontram-se nas áreas mais baixas da paisagem e, as de cor laranja encontram-se nas porções mais elevadas.

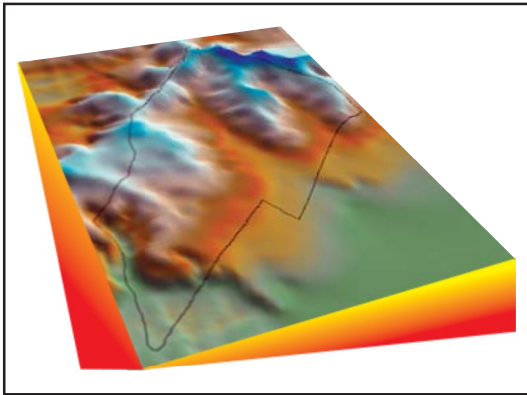


Figura 6. Modelo digital de elevação, que é uma representação espacial da superfície do solo da Fazenda Cangüiri e arredores. Este modelo imita o que seria visto utilizando-se pares de fotografias e estereoscópio. As cores que tendem para o azul indicam as áreas mais elevadas, as que tendem para o amarelo as porções intermediárias do relevo e as verdes as porções mais baixas.

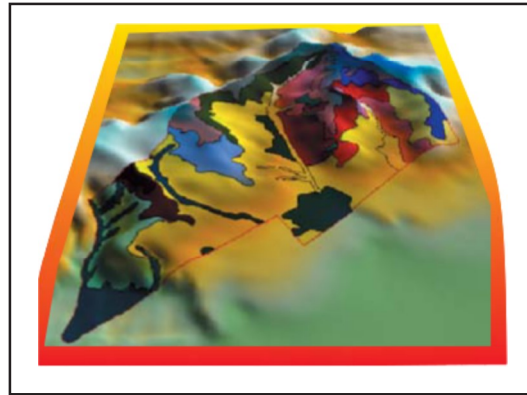


Figura 7. Modelo de superfície com separação de unidades de mapeamento (dentro dos limites da fazenda), onde cada unidade delimitada contém uma associação ou uma única classe de solos.

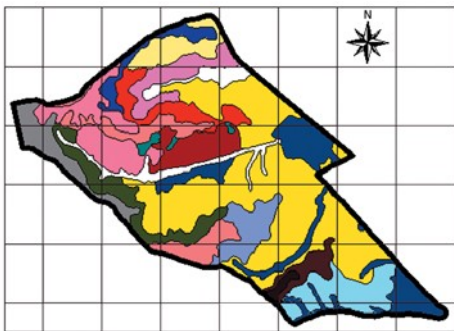


Figura 8. Mapa preliminar de solos, apenas ilustrativo, da fazenda Cangüiri da Universidade Federal do Paraná (Pinhais, PR).

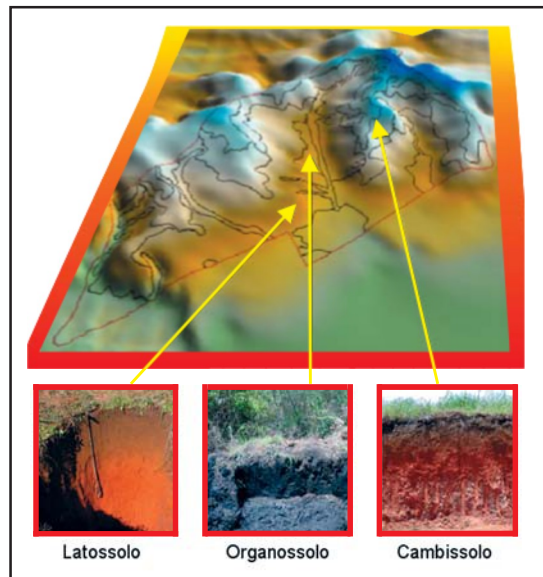


Figura 9. Modelo digital de elevação e delimitação de unidades de mapeamento com ilustração de classes de solos que ocorrem em três unidades distintas.

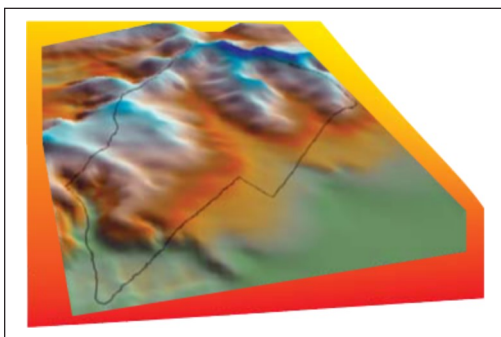


Figura 10. Representação espacial da superfície do solo da Fazenda Cangüiri.

8. ATIVIDADE PROPOSTA

Delimite as unidades de paisagem possíveis de serem separadas sobre o modelo digital de elevação de terreno ilustrado na Figura 10. Após delimitar, compare-as com a Figuras 7 e 9, onde estão separadas as principais classes de solos que ocorrem na área representada pelo modelo.

9. REFERÊNCIAS

- BRASIL. Secretaria Nacional de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais: ciências naturais**. Brasília:MEC/SEF, 1998. 138p.
- BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R.; SILVA, J.X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. **Boletim Paranaense de Geografia**, n.16-17, p.117-152, 1965.
- BIGARELLA, J.J ; BECKER, R.D.; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1996.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2.ed. São Paulo: 1980.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos, 1999.
- GOOSEN, D. **Interpretacion de fotos aereas y su importancia en levantamiento de suelos**. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1968. (Boletim sobre suelos, 5).
- NETTO, A.L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **GEOMORFOLOGIA: Uma atualização de bases e conceitos**. GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B., orgs. 2.ed. Rio de Janeiro:, Bertrand Brasil, 1995.
- OLIVEIRA, C. **Curso de cartografia moderna**. 3.ed. Rio de Janeiro: Secretaria de Planejamento da Presidência da República, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1980.
- OLIVEIRA, J.B. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.
- PRADO, H. **Manual de classificação de solos do Brasil**. 2.ed., Jaboticabal: FUNEP, 1995. 197p.
- RESENDE, M.; et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 3.ed. Viçosa-MG, Editora, 1999. 338p.
- RESENDE, M.; REZENDE, S.B. Levantamento de solos: uma estratificação de ambientes. **Informe Agropecuário**, v.9, n.105, p.3-25, 1983.
- RANZANI, G. **Manual de Levantamento de Solos**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1969.167p.

CAPÍTULO 9

FUNÇÕES DO SOLO NO MEIO AMBIENTE

Antônio Carlos Vargas Motta¹

Milena Barcellos²

1. INTRODUÇÃO

Grande parte da população dos centros urbanos tem em muito casos um sentido ambíguo da natureza, quer preservá-la, mas negligencia algumas coisas de importante do dia-a-dia. Por exemplo, reclamamos constantemente da chuva, por não nos permitir sair de casa ou por impedir de sairmos do trabalho, mesmo que seja por alguns minutos. Ainda mais, quando nos pega de surpresa na rua, sem estarmos preparados. Mas, de outro lado, ficamos vislumbrados com um pequeno rio ou lago, que tem sua origem da chuva. Um ano chuvoso no período de verão é visto como uma calamidade pelo pessoal do litoral, mas uma maravilha pelo povo do campo.

Assim, constantemente passamos para nossos filhos a idéia de que a chuva é uma coisa que atrapalha ou um castigo, passando um aspecto negativo para um dos fenômenos mais importantes da natureza.

A idéia de solo ou terra não é diferente da idéia de chuva, que é vista como uma sujeira sem fim, que contamina a casa. Um pé, ou mãos sujas de barro, é uma coisa horrível para a maioria das mães, o que é transmitido aos filhos. Assim, não é de se estranhar que muitas pessoas nos grandes centros urbanos não hesitem em cobrir toda área do quintal, ficando longe deste mal. Assim, longe do contato com solo e focalizando-o como uma coisa suja, fica cada vez mais difícil para uma criança entender sua importância e funções.

A conscientização da importância do solo para a sobrevivência dos seres vivos e preservação ambiental é objetivo deste capítulo. Assim, estamos propondo e tentaremos passar algumas informações básicas a respeito da importância do solo no meio ambiente, deixando de lado a idéia de que o solo é apenas um coisa que devemos evitar.

¹ Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mail: mottaacv@ufpr.br

² Engenheira Agrônoma, Mestre em Ciência do Solos, UFPR. E-mail: milenabarcellos@msn.com

Veremos que o solo tem importância fundamental na sustentabilidade do meio ambiente e na qualidade de vida. É um componente presente no ciclo de todos os nutrientes e está diretamente relacionado com a qualidade do ar, e principalmente, da água. Quando degradamos ou poluímos o solo, estamos comprometendo a sobrevivência dos seres vivos.

2. FUNÇÕES DO SOLO NO MEIO AMBIENTE

Quando pensamos na função do solo, logo o associamos com a sustentação das plantas, como "suporte" físico e como fonte de nutrientes e água para os vegetais. Mas será que a função do solo limita-se aos vegetais? Não, o solo apresenta importantes funções ambientais.

Na verdade, o solo interage com todos os seres vivos. Todos os nutrientes que as plantas absorvem, e que posteriormente são utilizados por nós e por todos os seres, têm, em algum período de seu ciclo, uma passagem pelo solo. Além disso, o solo contém uma imensa riqueza de vida (organismos), os quais promovem o reaproveitamento dos nutrientes.

Assim, DORAN e PARKIN (1996) mostraram que o solo pode atuar em seis funções críticas, citadas abaixo e explicadas com detalhes em seguida:

- a) Ciclagem de materiais orgânicos para liberação de nutrientes, que posteriormente serão reutilizado na síntese de nova matéria orgânica (ou seja, um ciclo);
- b) Estocagem e gradual liberação de água e nutrientes;
- c) Divisão da água da chuva que chega à superfície do solo: escoamento superficial e infiltração;
- d) Manutenção da diversidade de habitat necessária aos seres vivos do solo;
- e) Sustentação das raízes e resistência à erosão provocada pelo vento e água;
- f) Divisão (partição) da energia superficial, importante em processos globais.

2.1. Ciclagem de Nutrientes Contidos em Material Orgânico

A primeira função trata da vida do solo, sua atividade e a ciclagem dos nutrientes da matéria orgânica. Assim, essa função está diretamente relacionada com a fertilidade. Quando apresenta condições ambientais adequadas para a existência de organismos, o solo permite que estes interajam com os resíduos de matéria orgânica, atuando na sua decomposição e liberando os nutrientes que serão novamente utilizados pelas plantas e pela vida (biota) do solo (Figura 1).

Você deve estar lembrado que a matéria orgânica é composta basicamente de C, O e H. Assim, o solo funciona como grande reservatório de C, e a manutenção dele no solo ajuda a diminuir a poluição do ar. Quando retemos o C no solo na forma de matéria orgânica, estamos trabalhando com seqüestro de C.

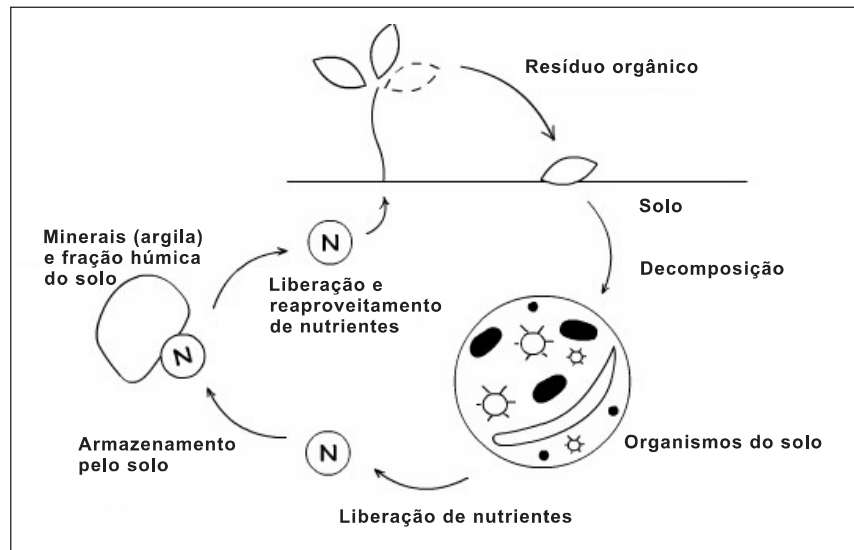


Figura 1. Ciclagem de nutrientes.

Além disso, os microrganismos também degradam compostos sintetizados pelo homem, como herbicidas, inseticidas, produtos derivados do petróleo e outros. Assim, grupos de microrganismos podem atuar na "quebra" (decomposição) de determinado composto sintético adicionado ao solo, diminuindo a possibilidade de poluição ambiental.

2.2. Estocagem e Liberação de Água e Nutrientes

A segunda função trata da recepção, estocagem e liberação de nutrientes, também estando diretamente relacionada com a fertilidade do solo. Essa função pode ser bem representada pela adubação, pela qual adicionamos nutrientes que serão retidos no solo e liberados gradativamente às plantas. Ressalta-se que essa função aplica-se não apenas aos nutrientes, mas também à água que é adicionada ao solo (chuva, irrigação) e que é retida e gradualmente disponibilizada.

Outro aspecto dessa segunda função é que o solo apresenta-se como um filtro natural contra a contaminação da água. Os nutrientes são retidos pelos minerais da fração argila e matéria orgânica do solo, sendo aos poucos liberados para plantas e organismos do solo e reutilizados. Contudo, o solo tem um limite para essa retenção. Quando esse limite é ultrapassado, os nutrientes em excesso passam a ser perdidos (Figura 2), como já foi visto no Capítulo 5 deste livro.

2.3. Divisão da Água em Escurimento Superficial e Infiltração

A terceira função está relacionada com a divisão da água da chuva na superfície dos solos em, ou seja, água de escurimento superficial e água de infiltração. Também aqui o solo atua como filtro e reservatório de água. Em ambientes florestais, por exemplo, o solo não recebe o impacto direto das gotas da chuva sobre a superfície. As copas das árvores recebem o primeiro impacto, reduzindo a "força" com que a gota chega ao solo. Ainda, na

superfície do solo, existe a cobertura de folhas, galhos e resíduos de plantas que também reduzem o impacto da gota da chuva (Figura 3). Logo, as gotas não atingem o solo de maneira agressiva, e a água penetra e é acumulada lentamente no solo, sendo seu excesso drenado para o lençol freático.

Então, o solo pode ser comparado a uma enorme esponja que retém a água que irá suprir as plantas e animais que ali vivem, assim como drenar o excesso de forma a regular as vazões dos rios (Figura 4).

A transformação de áreas florestais ou de campos nativos com vegetação permanente em áreas agrícolas ou urbanas pode levar a uma diminuição da capacidade do solo em armazenar e infiltrar água. Em muitos casos, os solos agrícolas encontram-se descobertos, sem nenhuma proteção, permitindo que o impacto das gotas da chuva forme uma camada dura sobre a superfície do solo, como uma "crosta" que diminui a infiltração de água. Ainda, o tráfego de máquinas agrícolas pesadas, utilizadas no preparo do solo e no manejo das culturas agrícolas, deixa o solo mais duro (compactação), com poucos "poros" ou espaços para penetração e movimentação da água.

Nas cidades, o caso é ainda mais grave, pois a água, sem poder infiltrar em áreas cobertas pelos telhados e pavimentos, escoar rapidamente até os rios mais próximos causando enchentes. As enchentes do rio Tietê em São Paulo são um exemplo clássico, onde o assoreamento (diminuição da profundidade do rio decorrente do acúmulo de resíduos) pode agravar o problema da baixa infiltração de água (Figura 5).

Em resumo, a função do solo como sistema de armazenagem e controle de infiltração e escoamento de água é merecedora de atenção especial, pois os agricultores são na verdade, componentes chaves no controle da qualidade da água que bebemos.

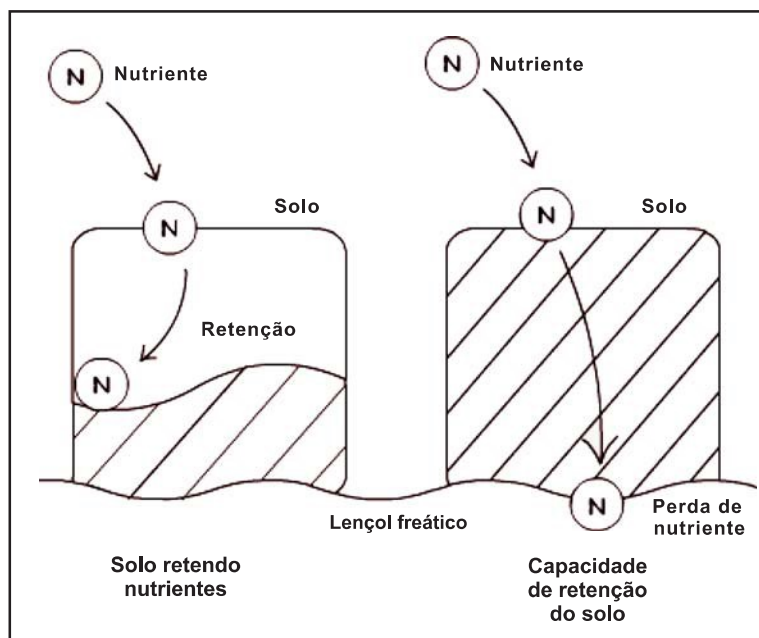


Figura 2. Capacidade de retenção do solo e perda de nutrientes.

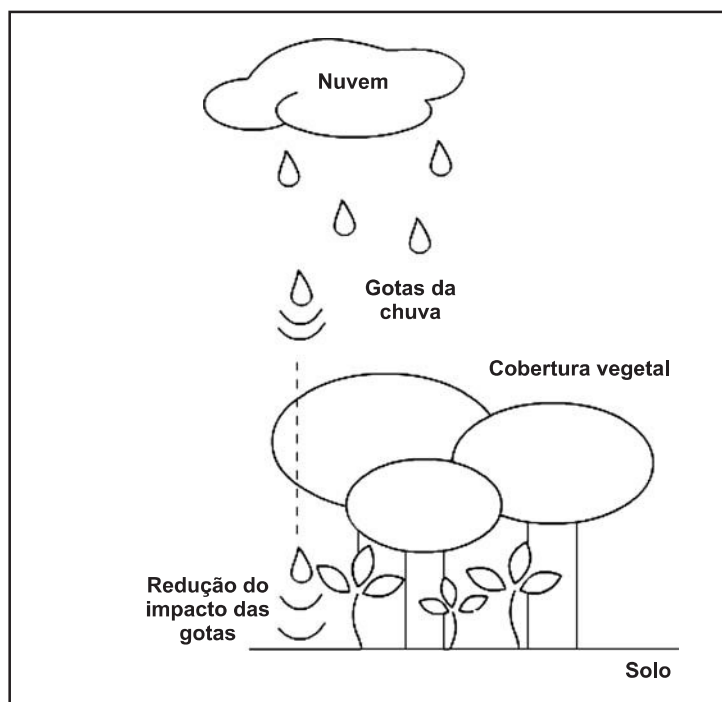


Figura 3. Redução do impacto da gota de chuva pela cobertura vegetal.

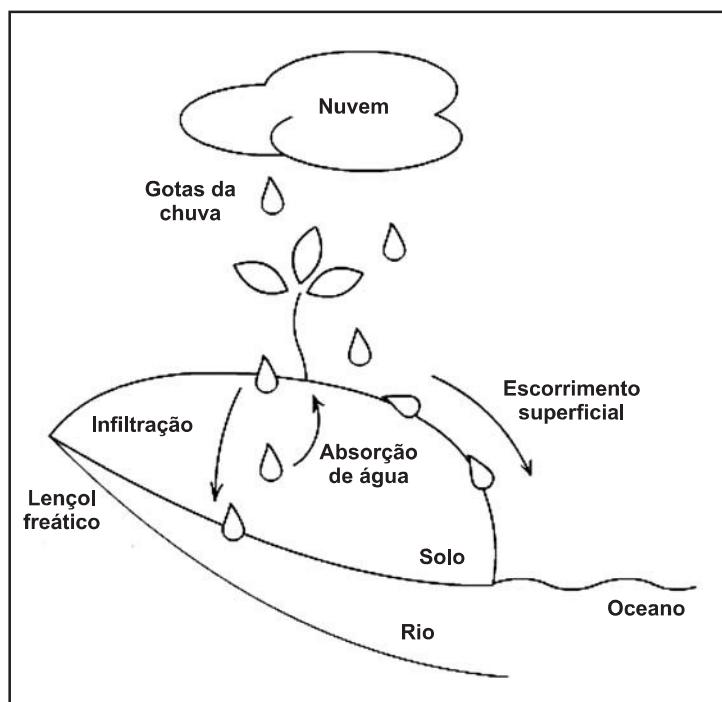


Figura 4. Infiltração e escoamento superficial da água.

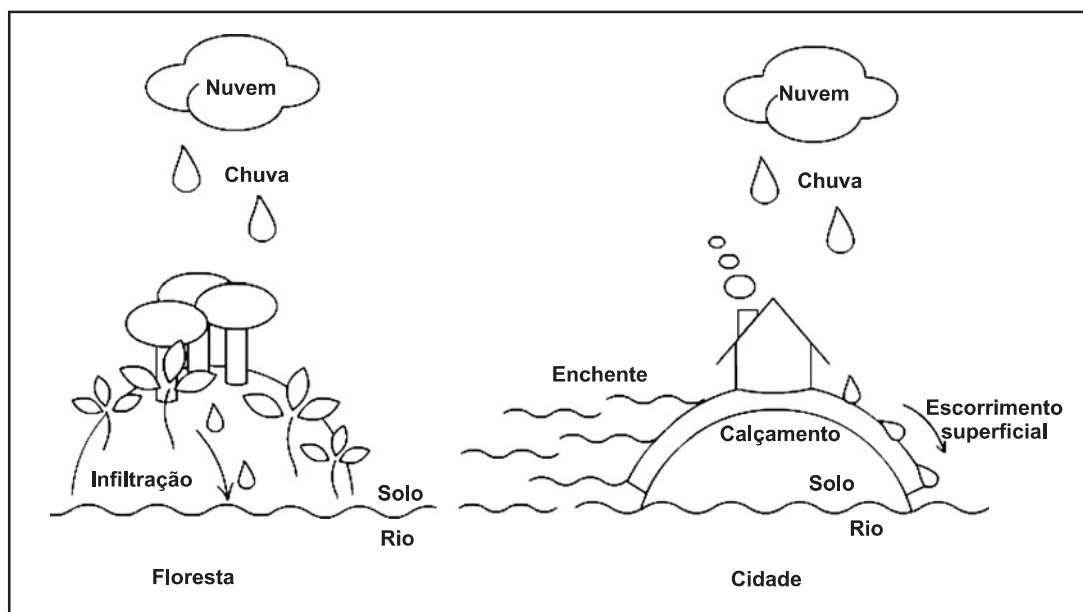


Figura 5. Baixa infiltração de água nas cidades.

Mas, será que a relação entre agricultura e qualidade de água é uma discussão nova? Na verdade, não. No período imperial, Dom Pedro II, preocupado com a falta de água causada pelo uso inadequado da terra próxima ao Rio de Janeiro, viu-se obrigado a indenizar fazendeiros de café e reflorestar grande área conhecida hoje por floresta da Tijuca. Logo, há muito tempo é sabido que o uso inadequado do solo pode comprometer a qualidade da água. As Áreas de Proteção Ambiental (APAs) são modelos atuais desta preocupação, onde a preservação da vegetação nativa, principalmente perto de nascentes de rios que abastecem as cidades, é fundamental para a manutenção da qualidade da água.

2.4. Manutenção da Diversidade de Habitat

Uma quarta função é proporcionar condições para o desenvolvimento de organismos vivos que têm como habitat o solo, mantendo a biodiversidade desse sistema. Os macrorganismos do solo (minhocas, centopéias, paquinhos, etc.) têm grande contribuição na formação de canais (Figura 6). Esses canais permitem que água infiltre alcançando maiores profundidades, melhorando assim a manutenção e distribuição da água no perfil do solo. Podem ainda ser utilizados pelas raízes, facilitando uma rápida expansão radicular, principalmente em profundidade, e, além disso, intensificam as trocas gasosas entre o ar do solo e o ar atmosférico.

Os microrganismos do solo também são importantes, atuando nos diversos processos de decomposição da matéria orgânica. Pergunta-se, fungos e bactérias não provocam doenças nas plantas e animais? Sim, alguns provocam, mas esses microrganismos são, na maioria, benéficos. Vale a pena lembrar que em nosso organismo existe grande quantidade de bactérias que auxiliam vários processos, como, por exemplo, a digestão, e apenas pequena parte delas pode causar doenças graves.

O solo precisa manter as condições de temperatura, umidade e aeração adequadas para o desenvolvimento de todos esses organismos, promovendo a interação entre eles e o sistema. É importante lembrar que muitos pássaros e outros animais se alimentam dos bichinhos que vivem no solo ou próximo à superfície (Figura 7).

2.5. Sustentação das Raízes e Resistência à Erosão

Outra função do solo essencial ao crescimento das plantas é o de promover e sustentar o crescimento das raízes. Existe uma reciprocidade entre o solo e as raízes das plantas, ou seja, ao mesmo tempo que o solo "sustenta" fisicamente as raízes, essas liberam substâncias que ajudam na estruturação do solo (união das partículas soltas do solo), o que é altamente benéfico para proteção contra a erosão, infiltração e movimentação da água, penetração e aeração do sistema radicular (Figura 8).

Será que esta capacidade das plantas em melhorar a estrutura do solo pode nos ajudar? É claro que sim. O plantio de espécies vegetais com um sistema radicular abundante em raízes finas, que penetram facilmente explorando grande área de solo, pode melhorar a cobertura vegetal, protegendo o solo e agregando melhor suas partículas. Esse aspecto é fundamental em encostas de morros, onde as plantas podem diminuir o potencial de deslizamento do solo.



Figura 6. Canais criados por larvas de besouros e minhocas em áreas de plantio direto.



Figura 7. Pássaros se alimentando de organismos do solo em um campo de alfafa.

O solo, quando muito pressionado ou prensado com passagem de máquinas ou pisoteio de animais, inclusive do homem, fica muito duro e com poucos poros, dificultando o crescimento das raízes (Figura 9) e, conseqüentemente, o desenvolvimento das plantas com um todo. Nós falamos que o solo está compactado quando apresenta estas características.

Mas a compactação pode ser revertida através do afrouxamento provocado pelo crescimento das raízes e dos organismos do solo como as minhocas. Assim, a presença de grande número de minhocas e o bom crescimento das raízes são indicativos de que o solo está bem.

2.6. Divisão da Energia Superficial

A energia solar que chega à Terra é utilizada em processos globais pelos seres vivos (fotossíntese e transpiração), na regulação do ciclo das águas (evaporação) e no aquecimento do planeta. O tipo de cobertura do solo afeta o quanto de energia fica no sistema (absorvida), influenciando a temperatura do solo. Assim, para evitar temperaturas elevadas no solo, o agricultor moderno procura manter o solo coberto o máximo de tempo. Essa cobertura pode ser realizada por meio de vegetação (culturas, plantios de cobertura, etc) (Figura 10) ou de resíduos de culturas já colhidas, chamados de palhada ou palha (Figura 11).

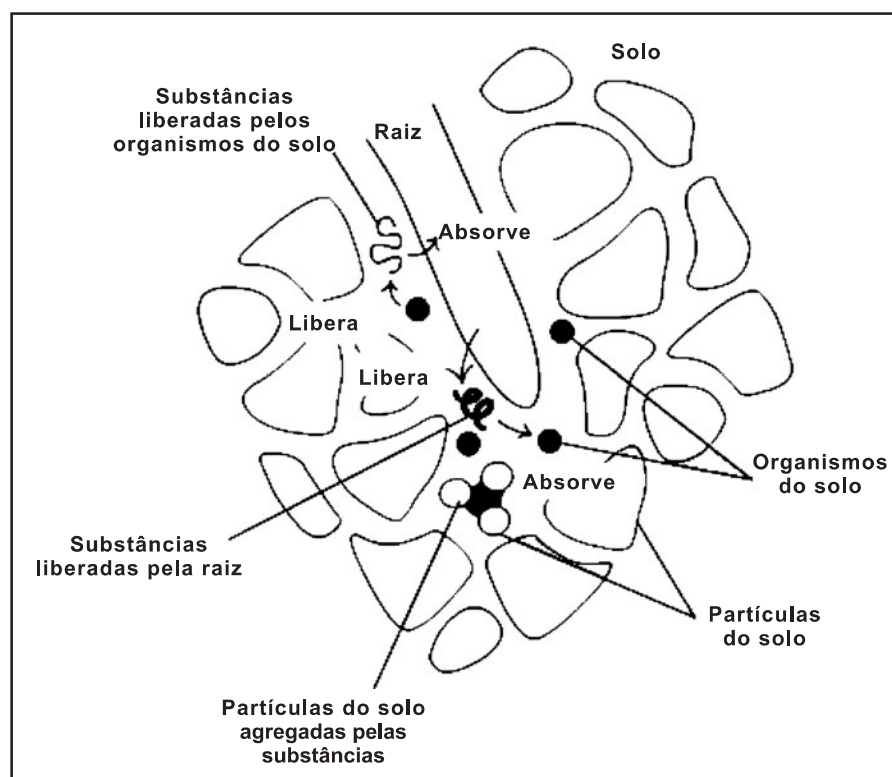


Figura 8. Interação solo - planta - organismos na agregação do solo.

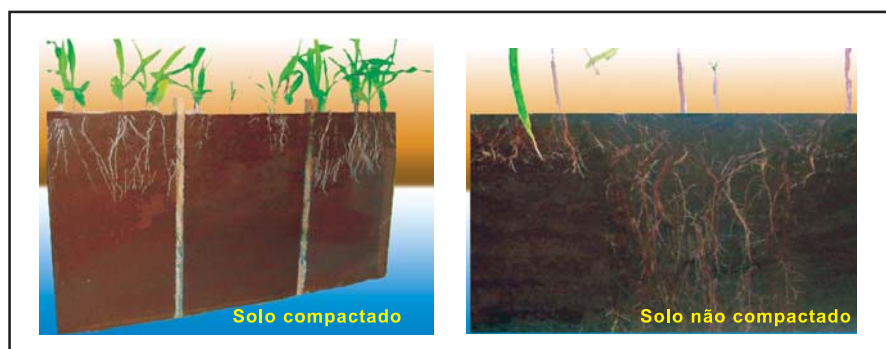


Figura 9. Compactação afetando crescimento das raízes do milho.



Figura 10. Cobertura do solo com plantas vivas.



Figura 11. Cobertura do solo com resíduo de culturas (palha).

Nas grandes cidades, a temperatura, em geral, é mais quente que nas regiões circunvizinhas ou áreas rurais. Esse fato decorre do microclima criado por meio da maior absorção de energia solar (luz) pelo asfalto, telhados, construções, etc. Esse aquecimento e grande variação de temperatura nesses ambientes ocorrem principalmente pela carência de água e de vegetais.

3. ATIVIDADES PROPOSTAS

3.1. Retenção de Água e Capacidade Filtrante do Solo

3.1.1. Materiais necessários:

- Aproximadamente 1 litro de solo seco peneirado.
- Uma garrafa PET transparente (2 litros).
- Frasco de 1.000 ou 500 mL com escala de medição em mL.
- Uma colher de café

3.1.2. Atividades:

Determinar quanto de água o solo pode reter e a capacidade do solo em filtrar água com café.

3.1.3. Objetivos:

Demonstrar que o solo retém água e é importante filtro de substâncias poluentes.

3.1.4. Procedimento:

Pegar duas garrafas plásticas de refrigerante de 2 litros e cortar uma no terço superior e a outra na metade. A garrafa cortada na metade será utilizada como suporte. Fazer três pequenos orifícios na tampa da garrafa que foi cortada em um terço (Figura 12).

Medir 1 litro de solo seco e colocar em uma garrafa transparente. Medir cerca de 500 mL de água, misturar com uma colher de café e adicionar lentamente na superfície. Após adição de todo conteúdo, esperar até o dia seguinte e medir quanto de água foi drenada. Medir a água drenada e retirar do que foi adicionado (500 mL) e verificar a cor da água antes e depois que passou no solo.

3.2. Ver a Importância do Solo no Crescimento da Planta

3.2.1. Materiais necessários:

- Aproximadamente 2 litros de solo seco peneirado, dos horizontes A, B e C.
- Três vasos com capacidade de 2 litros e prato.
- 12 sementes de milho e feijão.

3.2.2. Atividades:

Avaliar o efeito da matéria orgânica no crescimento da planta.

3.2.3. Objetivos:

Mostrar a importância em preservar o solo contra a perda do horizontes superficiais.

3.2.4. Procedimento:

Adicionar 2 litros de cada solo em cada vaso e plantar 4 sementes de cada espécie no vaso. Manter o solo úmido com aplicação diária de água (Figura 13). Relatar o que está ocorrendo com o tempo.



Figura 12. Solo atuando como filtro e reservatório de água.

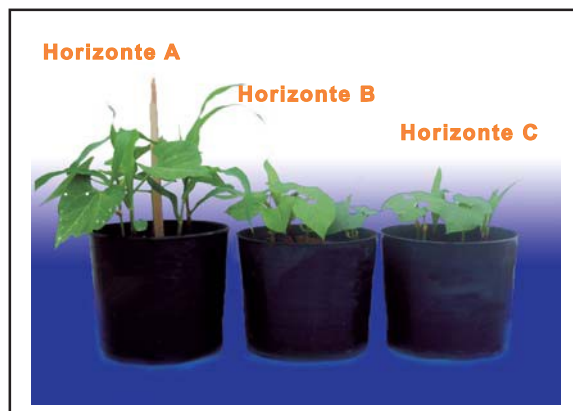


Figura 13. Relação horizonte do solo e produção de plantas.

4. REFERÊNCIAS

DORAN, J.W.T.B. Parkin. **Defining and assessing soil quality**. 1996.

DORAN, J.W. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. (SSSA Special Publication, 35).

CAPÍTULO 10

CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS SOLO E ÁGUA

Nerilde Favaretto¹
Jeferson Dieckow²

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, você irá entender como as interferências do Homem sobre o ambiente podem alterar a qualidade do solo e da água. Essas interferências podem ser negativas, quando, por exemplo, práticas inadequadas de cultivo do solo são empregadas. Mas também podem ser positivas, quando por meio de uma consciência ecológica o Homem não visa exclusivamente à produção econômica, mas também à conservação do solo e da água, sendo esse o caminho para a sustentabilidade.

2. RECURSOS NATURAIS

Os recursos naturais ocorrem naturalmente e suprem necessidades dos seres humanos. Esses recursos podem ser renováveis ou não-renováveis. Os recursos renováveis são continuamente repostos pela natureza. Os recursos não-renováveis, por sua vez, não são repostos continuamente, ou seja, são finitos. O petróleo e os minérios são exemplos de recursos naturais não-renováveis. A vegetação e os animais são exemplos de recursos naturais renováveis.

Tradicionalmente, o solo foi considerado um recurso natural renovável. Mas, por causa da intensa degradação promovida nos últimos séculos, a disponibilidade do solo está sendo gravemente comprometida. Por isso, na realidade atual e em termos práticos, o solo deve ser considerado um recurso natural não-renovável. A quantidade de solo que é perdida a cada ano por degradação causada pelo Homem pode superar bastante a quantidade de solo que é formada a cada ano pela natureza. Isso gera um desequilíbrio que leva o solo ao

¹ Engenheira Agrônoma, Doutora, Professora do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mail: nfavaretto@ufpr.br

² Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mail: jefersondieckow@ufpr.br

seu esgotamento. Com isso, as futuras gerações não terão a oportunidade de usufruir esse valioso recurso. E o que farão nossos filhos, netos, bisnetos após o esgotamento do solo? Será possível moer uma rocha e transformá-la em solo? Será possível produzir alimento sem o solo? Algumas hortaliças já são cultivadas em hidroponia, sistema em que as raízes crescem em água e não no solo. Mas não é possível produzir todos os tipos de alimentos e nem crescer árvores em hidroponia. Não existe também a menor possibilidade de ser uma rocha e produzir industrialmente um solo para suprir a demanda deste recurso. Por isso, é impossível manter a vida humana na Terra sem o solo. Por isso é que precisamos conservar o solo, cuidar bem dele. E isso é uma tarefa de todos nós. O agricultor tem o dever de conservar o solo, mas não só o agricultor. As pessoas que moram na cidade também!

A água, por outro lado, é considerada um recurso natural renovável. Ela é constantemente suprida pela natureza através do ciclo hidrológico. Mas o problema é que a população está aumentando e se concentrando nas áreas urbanas. O pior é que a maioria das pessoas não usa a água de forma racional. Elas simplesmente esbanjam no consumo. A poluição dos rios, principalmente nas cidades, pelo lixo e esgoto das casas e das indústrias, é outro grande problema. Por essas razões é que a água em nosso planeta está se tornando um recurso finito. E como a falta de água nos afetaria? Será que iremos sobreviver sem o recurso água? Por quanto tempo uma pessoa sobrevive sem tomar água? Os alimentos podem ser produzidos sem água? Por que há falta de água se estamos rodeados por rios, oceanos e mares? Infelizmente, muitos rios, principalmente no meio urbano, estão poluídos, e, apesar de existir uma imensidão de água salgada, o processo de transformação desta em água potável para o uso humano é muito caro. Portanto, além de conservarmos o solo, devemos colocar o mesmo esforço na conservação da água.

Várias atividades exercidas pelo Homem podem degradar severamente os recursos naturais, caso não sejam corretamente executadas. Dentre essas atividades, destacam-se a agricultura (especialmente a que usa intensivamente o solo), a urbanização, a mineração e a construção de estradas.

3. CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é o ciclo que a água percorre na natureza. Os principais processos do ciclo hidrológico são: **precipitação, interceptação, infiltração, escoamento superficial, evaporação e transpiração** (Figura 1).

Precipitação: A atmosfera contém vapor de água. Esse vapor se condensa em pequenas gotículas que formam as nuvens. Essas gotículas crescem e, a partir de determinado tamanho, elas caem na forma de gotas de chuva, ou seja, precipitam. A chuva é a forma mais comum de precipitação, mas granizo e neve também são formas de precipitação.

Interceptação: Parte da água da chuva é retida, ou seja, interceptada pelas folhas e caules de plantas. Essa água não chega até à superfície do solo.

Infiltração: Parte da água que chega até à superfície do solo irá infiltrar nele, através de poros e canais. Parte dessa água será absorvida pelas raízes, garantindo a sobrevivência das plantas, enquanto parte continuará descendo através do perfil do solo e irá abastecer os depósitos subterrâneos de água, os quais, por sua vez, abastecem as águas superficiais através das nascentes. Nesse caso, o solo funciona como um "filtro" de água.

Escoamento superficial: Nem toda a água da chuva que chega até à superfície do solo vai infiltrar. O solo tem capacidade limitada de infiltração. Logo, o excesso de água vai escoar superficialmente, formando a enxurrada que desce a ladeira. Essa enxurrada carrega partículas de solo, lixo e outros poluentes que vão ser jogados diretamente nos rios. Ou seja, ao contrário do que ocorre com a água infiltrada, no escoamento superficial a água chegará suja no rio. Nas cidades, isso é um problema relativamente comum, pois as calçadas, o asfalto e as construções impedem a infiltração da água no solo. Não tendo como infiltrar, ela vai escoar superficialmente. Os alagamentos que são comuns em algumas cidades são causados justamente pela baixa infiltração da água no solo.

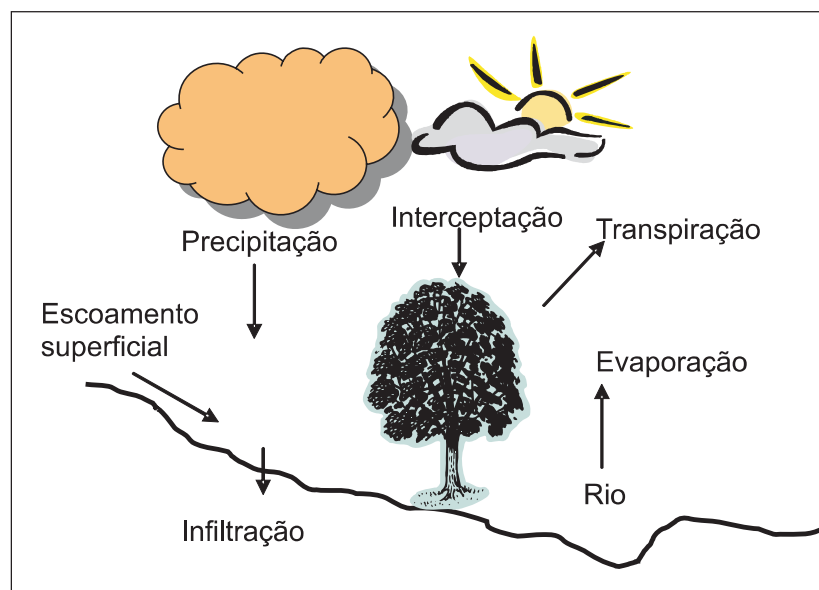


Figura 1. Representação simplificada do ciclo hidrológico ou ciclo da água na natureza (Fonte: Modificado de SANTA CATARINA, 1994).

Ao transportar partículas de solo, o escoamento superficial promove a erosão do solo, ou seja, promove sua degradação. Nota-se, portanto, que o escoamento superficial compromete tanto a qualidade da água como também do solo. Por isso, a meta é sempre reduzir o escoamento superficial por meio da infiltração.

Evaporação e Transpiração: A energia solar aquece a água na superfície da crosta terrestre (água do solo, rios, lagos e oceanos). Com esse aquecimento, a água originalmente no estado líquido evapora para a atmosfera na forma de vapor. As plantas também liberam água na forma de vapor para a atmosfera por meio da transpiração. Na atmosfera, o vapor de água se condensa novamente e precipita, fechando, assim, o ciclo hidrológico ou ciclo da água na natureza.

O entendimento do ciclo hidrológico, mesmo que de forma simplificada, é fundamental para a melhor compreensão dos processos de degradação e conservação dos recursos naturais solo e água.

4. EROSÃO DO SOLO

A principal forma de degradação do solo é a erosão. Ela pode ser definida como o desgaste da superfície do solo pela ação dos agentes erosivos. A água e o vento são os principais agentes erosivos. Em termos mais técnicos, a erosão consiste nos processos físicos de desagregação, transporte e deposição das partículas de solo. Esses processos serão explicados adiante.

4.1. Tipos de Erosão

Existem basicamente dois tipos de erosão: a erosão natural e a erosão acelerada.

A erosão natural também é conhecida como erosão normal ou geológica. Nesse tipo de erosão, os agentes (água e vento) atuam de forma "branda", por longos períodos de tempo e sem a interferência do ser humano. É esse tipo de erosão que forma as paisagens de serra, com morros e vales. A quantidade anual de solo perdida por erosão natural é igual ou inferior à quantidade formada pela natureza. As taxas de formação do solo são difíceis de ser determinadas. No entanto, existem estudos indicando que, em solos não cultivados, a formação de 2,5 cm de solo superficial pode levar de 300 a 1000 anos.

A erosão acelerada também é conhecida como erosão induzida ou antrópica. Nesse tipo de erosão, os agentes atuam por períodos de tempo relativamente curtos e com forte interferência do ser humano. Este tipo de erosão é mais intenso que a erosão geológica ou natural e ocorre quando o ser humano utiliza a terra para fins agrícolas, para fundação de construções rurais e urbanas ou para outros fins, onde ocorre a remoção de vegetais. Na erosão acelerada, as taxas de perda normalmente são bem superiores às taxas de formação do solo. As perdas que a erosão natural levaria anos para causar, a erosão acelerada leva semanas, dias ou até mesmo horas.

4.2. Agentes Erosivos e Classes de Erosão

Como visto anteriormente, os principais agentes erosivos, ou seja, os principais causadores da erosão são a água e o vento. Conforme o agente erosivo, são definidas as classes de erosão: a erosão hídrica, causada pela água em movimento, e erosão eólica, causada pelo vento. Dependendo da origem da água, a erosão hídrica pode ser pluvial (causada pela água das chuvas), fluvial (causada pela água dos rios) ou marinha (causada pela água dos mares). De modo geral, a erosão hídrica pluvial é a de maior importância, por ser ela a predominante na superfície da crosta terrestre. A erosão eólica também constitui grave problema em algumas partes do globo terrestre, principalmente em regiões de solo muito arenoso, ocorrendo, assim, a formação de dunas.

Em experimento de laboratório (Figura 2), é possível observar a coloração avermelhada da água coletada após a chuva simulada sobre um solo descoberto. O que deixa a água mais vermelha são justamente as partículas de solo que foram carregadas pela enxurrada. Transferindo esse experimento de laboratório para a realidade de campo, podemos usar as Cataratas do Rio Iguaçu como exemplo (Figura 3). Após períodos de chuvas intensas, a água das Cataratas fica vermelha em decorrência da presença de partículas de solo em suspensão. Essas partículas foram transportadas a partir das lavouras, estradas e cidades.

A erosão hídrica pluvial é causada pelo impacto das gotas da chuva e pela ação do escoamento superficial ou enxurrada. O impacto direto das gotas da chuva desagrega o solo, ou seja, deixa as partículas de solo soltas. Com isso fica mais fácil para a enxurrada transportar essas partículas até às partes baixas do terreno. Nessas baixadas, o terreno é geralmente mais plano, o que diminui a velocidade da enxurrada e permite a deposição das partículas transportadas. As etapas da erosão hídrica pluvial estão esquematizadas na Figura 4.



Figura 2. Coloração da água coletada (garrafa) durante uma chuva sobre um solo descoberto.



Figura 3. Coloração da água das Cataratas do Iguaçu após chuvas intensas em Foz do Iguaçu, PR.

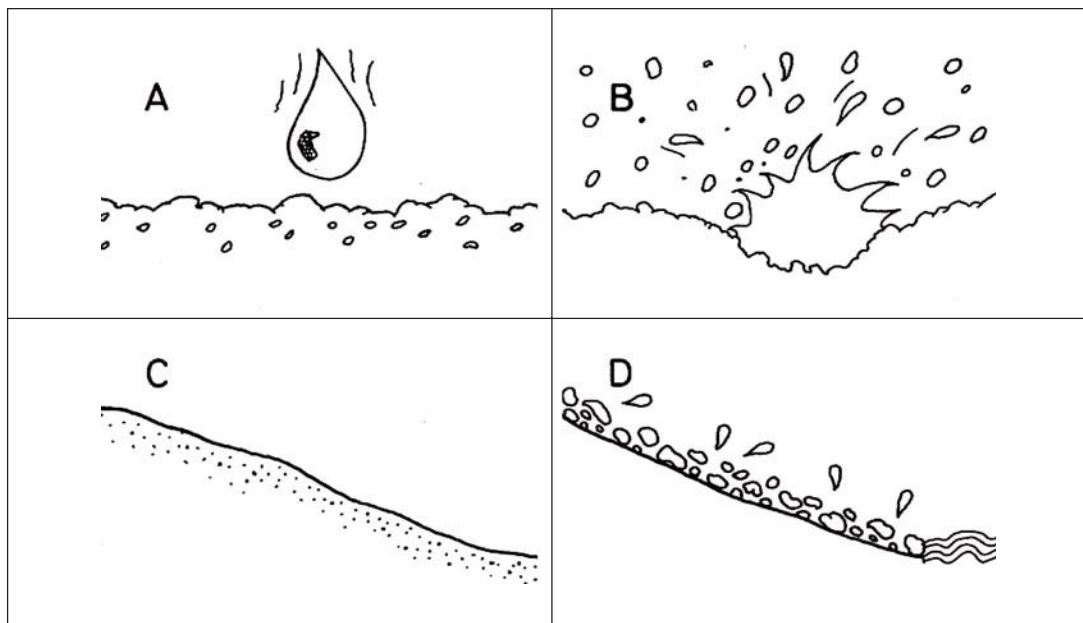


Figura 4. Representação esquemática de como ocorre a erosão hídrica pluvial. O impacto das gotas da chuva (A), causando a desagregação (B), e o selamento superficial do solo (C), com subsequente transporte e deposição das partículas (D). (Fonte: DERPSCHE et al., 1991).

4.3. Formas de Erosão Hídrica

Existem três formas principais de erosão hídrica, sendo elas classificadas com base nas características da superfície do solo após o processo erosivo. Tais formas de erosão hídrica são: erosão entre sulcos, erosão em sulcos e erosão em voçorocas.

A erosão entre sulcos, em alguns casos, também é chamada de erosão laminar. No entanto, utilizaremos somente o termo erosão entre sulcos, por ser este o mais apropriado. A erosão entre sulcos consiste na remoção mais ou menos uniforme de uma fina camada de solo em toda a extensão da superfície mais lisa do terreno, onde não há concentração de enxurrada. Esta forma de erosão é de grande abrangência; no entanto, de difícil visualização, visto que somente uma homogênea e delgada camada de solo é removida da superfície do terreno após uma chuva.

A erosão em sulcos, por sua vez, começa a partir de pequenos canais existentes na superfície do solo. Durante uma chuva, a água se concentra nesses canais, ocorrendo, assim, a formação do sulco. Esta forma de erosão é de fácil visualização no campo.

Por fim, a erosão em voçorocas representa um estágio avançado da erosão em sulcos. Ela ocorre em canais relativamente grandes. Na Figura 5, pode-se observar a ocorrência de erosão em voçoroca numa área degradada pela construção civil, onde os horizontes superficiais do solo foram removidos. A ocorrência de erosão em voçoroca em uma área intensamente degradada pela urbanização é apresentada na Figura 6. A recuperação desta forma de erosão, além de ser muito difícil e demorada, envolve custos relativamente elevados.

4.4. Conseqüências da Erosão

A erosão do solo constitui o centro de atenção de uma série de problemas relacionados com o uso dos recursos solo e água. Ela causa problemas ambientais, econômicos e sociais. Dentre os problemas ambientais, destacam-se: o assoreamento dos rios e lagos, a poluição da água, a destruição dos microrganismos do solo e a emissão de gás carbônico para atmosfera em virtude da decomposição da matéria orgânica. A redução da fertilidade e da capacidade do solo em armazenar água diminui a produtividade das culturas e, conseqüentemente, diminui o lucro do agricultor e gera problemas de ordem econômica. Por essa razão, muitos agricultores também abandonam o campo e vão buscar alternativas de trabalho na cidade, gerando problemas de ordem social (êxodo rural). Outros problemas sociais causados pela erosão são o aumento no custo de tratamento da água, deslizamentos de terra e enchentes em áreas urbanas.

5. CONSERVAÇÃO DO SOLO

Normalmente, associamos conservação do solo unicamente ao controle da erosão. No entanto, conservação do solo vai além do controle da erosão. Conservação do solo é, por definição, a combinação de métodos de manejo e uso da terra que protegem o solo contra seu esgotamento físico, químico e biológico. Quanto ao controle da erosão, a conservação do solo visa reduzir as perdas a níveis toleráveis, seja por meio da redução do impacto das gotas da chuva, seja por meio da redução do volume e da velocidade da enxurrada.



Figura 5. Erosão em voçoroca em área degradada pela remoção dos horizontes superficiais do solo.
Foto: Marcelo Ricardo de Lima.



Figura 6. Erosão em voçoroca e deposição de sedimentos em área degradada pela urbanização desordenada na região de Curitiba, PR.

5.1. Controle da Erosão

Existem várias práticas que reduzem expressivamente as perdas de solo por erosão. Algumas são discutidas abaixo:

Cultivo continuado de plantas: Por meio dessa prática, a parte aérea das plantas (folhas e caules) e o resíduo superficial (palha) mantêm o solo coberto durante todo o ano. Plantas e resíduo superficial funcionam como um "colchão amortecedor" contra o impacto das gotas de chuva, evitando a desagregação e erosão do solo (Figura 7). Plantas e resíduos superficiais também servem de obstáculo à enxurrada e diminuindo sua velocidade e potencial

de causar erosão. Além disso, o cultivo de plantas com raízes fasciculadas (grama, capins etc.) mantém o solo agregado (unido), o que dificulta o seu transporte pela enxurrada, e poroso, o que favorece a infiltração de água. Os resíduos de planta também aumentam o teor de matéria orgânica no solo e favorecem a atividade de microrganismos (bactérias e fungos) e minhocas, que também mantêm o solo agregado e poroso. Em áreas com relevo muito acidentado (como nas serras), o solo deve ser mantido sempre coberto com a vegetação nativa de mata e nunca cultivado. À medida que o relevo vai ficando mais suave, o solo pode então ser usado com floresta plantada, fruticultura, pastagem até chegar ao uso de culturas anuais, as quais devem estar em áreas mais planas.

O manejo do resíduo superficial após a colheita de uma cultura tem grande influência não só na quantidade de solo perdida por erosão, mas também na quantidade de água perdida por enxurrada. Os efeitos da queima, da incorporação e da manutenção superficial dos resíduos culturais nas perdas de solo e água por erosão hídrica são apresentados na Quadro 1. Observa-se que tanto as perdas de solo quanto de água foram bastante reduzidas quando os resíduos culturais ficaram na superfície do solo. Com vistas em buscar maior eficiência na prática da conservação do solo e da água, recomenda-se manter os resíduos vegetais uniformemente espalhados na superfície do solo. Não sendo possível deixar a cobertura integral dos solos, recomenda-se incorporar os resíduos parcialmente, mas jamais queimá-los ou removê-los da área.

Cultivo em nível: Consiste em cultivar as plantas em fileiras dispostas em nível no terreno. Essas fileiras em nível também vão servir de obstáculo à enxurrada, diminuindo sua velocidade e forçando a infiltração da água.

Terraceamento: Consiste na construção de terraços na área (Figura 8). O terraço é uma estrutura longa feita de terra e constituída de um camalhão e de um canal. Os terraços são dispostos transversalmente na área e sua função é parar a enxurrada. Quando o terraço é construído em nível, a água da enxurrada que se acumula no canal do terraço é forçada a infiltrar no solo. Quando o terraço é construído em desnível, essa água escoar lentamente para fora da lavoura, para uma área de mato, capoeira ou gramado, sem causar problemas de erosão.

Quadro 1. Efeito das formas de manejo dos resíduos culturais de milho nas perdas de solo e água por erosão hídrica

Tipo de manejo dos resíduos vegetais	Perda de solo (quilograma por metro quadrado)	Perda de água (% da chuva)
Resíduos queimados	2,02	8,0
Resíduos incorporados ao solo	1,38	5,8
Resíduos na superfície do solo	0,65	2,5

Fonte: BERTONI e LOMBARDI NETO (1999).

5.2. Sistema de Preparo do Solo e seu Efeito sobre a Erosão

Na semeadura ou plantio das culturas, normalmente torna-se necessário preparar o solo o que afeta a erosão devido ao seu efeito não só na cobertura não só na cobertura superficial do solo, mas também nas suas propriedades físicas (compactação, densidade, aeração, etc.).

O preparo do solo conhecido como convencional promove intenso revolvimento do solo pelo uso de arado e grade (Figura 9). Com isso o solo fica desagregado e mais susceptível ao transporte pela enxurrada. Além disso, os restos culturais são incorporados e não vão atuar mais como "colchões amortecedores" contra o impacto das gotas de chuva. O resultado é o aumento nas taxas de perda de solo por erosão.

Por outro lado, existe o sistema plantio direto, onde a semeadura ou plantio de uma cultura é realizado em solo sem preparo (Figura 10). Nesse sistema, praticamente todo o resíduo cultural permanece na superfície do solo, absorvendo o impacto das gotas de chuva. Além disso, o fato de o solo não estar desagregado aumenta sua resistência contra a ação erosiva da enxurrada. Tal sistema tem-se mostrado eficaz no controle das perdas de solo por erosão, e sua adoção pelos produtores rurais brasileiros tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. No Quadro 2, observa-se que o sistema plantio direto bem manejado reduziu em aproximadamente 17 vezes a perda de solo e em 6 vezes a perda de água, em relação ao sistema de preparo convencional.

5.3. Bacia Hidrográfica como Unidade de Conservação do Solo e Água

Bacia hidrográfica é uma área geográfica delimitada por divisores de água (espigões). Toda a água que precipita nessa área irá chegar a um único curso de água (sanga, arroio ou rio). Dependendo da localização, uma bacia hidrográfica abrange propriedades rurais, escolas, estradas, casas, comunidades, centros urbanos, mananciais, etc. E todos esses componentes devem ser vistos de forma integrada no planejamento conservacionista de uma bacia. O termo microbacia também é utilizado e refere-se a uma bacia hidrográfica de menor tamanho.

No meio urbano, é comum o termo bacia de captação de água, a qual nada mais é do que a bacia hidrográfica onde a água é captada para depois ser tratada e distribuída à população.

O planejamento e a execução de programas de conservação do solo e da água em nível de bacia hidrográfica têm sido utilizados para enfrentar os problemas relativos ao uso e manejo inadequado dos recursos solo e água, principalmente no meio rural.

6. QUALIDADE DA ÁGUA

6.1. Uso da Água

A água é utilizada para vários fins e, dentre esses, destaca-se o consumo humano direto. Outras formas de uso da água incluem o consumo animal e industrial, a pesca, a aqüicultura, a irrigação, a recreação, a navegação, a geração de energia elétrica e a diluição de efluentes (esgotos).

A água é fundamental para as funções vitais dos seres vivos. Cerca de 70% da massa corporal de uma pessoa é constituída de água. Estima-se que uma pessoa necessita, no



Figura 7. Solo protegido pela vegetação.

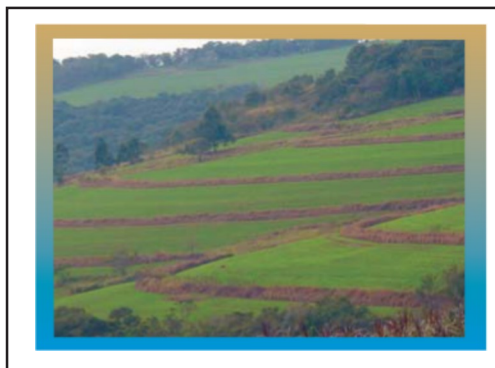


Figura 8. Terraceamento em área agrícola.



Figura 9. Preparo convencional do solo.



Figura 10. Plantio direto com cobertura vegetal viva e morta. Foto Volnei Pauletti.

mínimo, de 5 litros de água por dia para beber e cozinhar e 25 litros para higiene pessoal. No entanto, o volume de água utilizado, incluindo o consumo no interior da casa (água de beber, cozinhar, lavar, etc.) e fora da casa (piscina e lavagem de quintal e carro) varia nos diferentes países e regiões. Só para ilustrar: uma família média no Canadá consome cerca de 350 litros de água por dia, no Brasil 200 litros, na Europa 165 litros e na África 20 litros (TUNDISI, 2003).

Além do abastecimento doméstico, a água é fundamental para a atividade agropecuária. Todos os alimentos produzidos (de origem animal ou vegetal) necessitam de grandes volumes de água. Considerando o período de produção até à chegada ao consumidor, estima-se que, para um quilograma de cereal, necessita-se de 1.500 litros de água. Já um quilograma de carne fresca de bovino, necessita-se de 15.000 litros de água (TUNDISI, 2003).

6.2. Disponibilidade de Água

A água cobre mais de 70% da superfície do globo terrestre, mas nem toda essa água está prontamente disponível para o consumo humano. Conforme algumas estimativas (Quadro 3), 97,4% do volume total de água do planeta é salgada, e por essa razão imprópria

para o consumo humano direto. Trata-se da água contida em oceanos e mares. Os 2,6% restantes são de água doce, mas nem por isso disponíveis aos seres humanos, pois estão na forma de geleiras ou em depósitos subterrâneos. O volume de água que efetivamente pode ser utilizado de forma direta pelos seres humanos representa somente 0,008% do volume total. Essa é a água que denominamos de superficial, presente nos lagos, rios, solo, planta e atmosfera. Como a existência dos seres humanos está na dependência dessa pequena percentagem de 0,008% da água do globo terrestre, aliado a grande concentração de pessoas em centros urbanos, é de suma importância o estabelecimento de medidas para conservação dessa água.

6.3. Poluição da Água

Existem basicamente duas formas de poluição das águas: pontual (direta) ou difusa (indireta). Na poluição pontual, o poluente é jogado diretamente no rio ou lago, como é o caso de esgoto doméstico, lixo, resíduo de indústria, esterco de animais, etc. Na poluição difusa, o poluente chega indiretamente ao rio ou lago. Um exemplo de poluição difusa é a entrada de pesticidas e nutrientes na água dos rios através da erosão. É considerada difusa porque os pesticidas e nutrientes são aplicados na lavoura e daí são transportados até os rios ou lagos.

Quadro 2. Efeito do sistema de preparo do solo nas perdas de solo e água por erosão hídrica

Preparo do solo	Perda de solo (quilograma por metro quadrado)	Perda de água (% da chuva)
Convencional	1,84	7,6
Sem preparo (plantio direto)	0,11	1,3

Fonte: GALETTI (1987).

Quadro 3. Estimativa global da distribuição do volume total de água em diferentes formas

Forma	km ³	% do total
Água em plantas e animais	1.100	0.0001
Água na forma de vapor	13.000	0.0009
Água em rios, lagos e reservatórios	100.000	0.007
Água subterrânea (solo e rochas)	8.300.000	0.6
Água em geleiras e neve	27.500.000	2.0
Água em oceanos e mares	1.350.000.000	97.4

Fonte: TROEH et al. (1999).

A discussão em torno da sustentabilidade ambiental vem aumentando consideravelmente no mundo. Um dos principais tópicos dessa discussão é a degradação da qualidade da água. Dentre as fontes poluidoras da água no meio rural, os fertilizantes (minerais e orgânicos) e os pesticidas têm sido considerados os principais. A poluição das águas superficiais e subterrâneas por nutrientes e pesticidas constitui o principal impacto ambiental advindo da agricultura. Nos Estados Unidos, por exemplo, a agricultura é considerada a atividade que mais degrada a qualidade da água dos rios e lagos. Altas concentrações destes poluentes na água têm causado problemas não só ambientais, mas também de saúde humana e animal. Já no meio urbano, pode-se dizer que a principal fonte poluidora da água é a descarga do esgoto doméstico e industrial diretamente nos cursos de água. Outra fonte poluidora no meio urbano é o lixo jogado inadequadamente nas ruas e calçadas, o qual, após uma chuva, é transportado até os cursos de água pela enxurrada (Figura 11).

No Brasil, a poluição da água é um problema sério. Estima-se que 65% das internações hospitalares estão relacionadas com o uso de água imprópria para o consumo humano (TUNDISI, 2003).

Outro problema sério advindo da poluição das águas é a eutrofização, a qual se refere à concentração elevada de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, na água, o que propicia o crescimento acelerado de algas e plantas aquáticas (Figura 12). Depois da morte dessas algas e plantas aquáticas, ocorre a decomposição, processo em que o nível de oxigênio na água diminui drasticamente, levando peixes e outros organismos aquáticos à morte. Além disso, o crescimento excessivo de algas em reservatórios de abastecimento para consumo humano pode causar problemas decorrentes da alteração na cor e sabor da água e da liberação de algumas toxinas. A redução do nível de oxigênio na água também pode ser atribuída à decomposição de substâncias orgânicas descarregadas direta ou indiretamente, tais como: esgoto doméstico, resíduo industrial e dejetos de animais de criação.

Outro problema de poluição da água está relacionado com a concentração de nitrato na mesma. O nitrato é uma forma de nitrogênio que, em alta concentração, causa uma doença conhecida como metahemoglobinemia ou síndrome do bebê azul. Essa doença caracteriza-se pela falta de transporte de oxigênio no sangue. Além dessa doença, muito se discute sobre o efeito do nitrato como possível causador de câncer. Por ser o nitrato um elemento muito móvel no solo, seu problema de poluição aparece principalmente nas águas subterrâneas.

6.4. Conservação da Água

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433 de 1997) reconhece que a água é um recurso natural limitado. Em situações de escassez de água, essa lei prevê que o uso prioritário da água seja para o abastecimento humano e animal. A disponibilidade de água no nosso planeta está diminuindo gradativamente, consequência da degradação do meio ambiente, crescimento populacional e expansão da fronteira agrícola. Um exemplo claro é o racionamento de água enfrentado em diversos centros urbanos. Os reservatórios não estão conseguindo suprir a crescente demanda de água pela população. Assim, o incentivo a programas de desenvolvimento sustentável voltados à utilização adequada dos recursos naturais água e solo é uma medida a ser urgentemente considerada.

Quando se fala em conservação da água, tanto no meio rural como no urbano, não se pode deixar de mencionar a importância da vegetação próxima aos rios e nascentes (mata ciliar). Esta faixa de vegetação funciona como um filtro, evitando a entrada de diversos poluentes na água. No meio rural, têm sido adotados programas de conservação de solo e água em bacia hidrográfica, por meio do uso de várias práticas, dentre elas a restauração de matas ciliares.

A conservação da água no meio urbano está muito mais direcionada ao controle da poluição direta, ou seja, ao controle da entrada de lixo e esgoto doméstico e industrial diretamente no rio. No entanto, o controle do escoamento superficial urbano, uma fonte não pontual de poluição da água, precisa ser considerado. Aumentar a percentagem de área vegetada em centros urbanos é uma forma de diminuir a poluição da água superficial, pois possibilita maior infiltração de água no solo e redução do escoamento superficial.

7. ATIVIDADE PROPOSTA

7.1. Objetivo

Mostrar aos alunos como ocorre a erosão hídrica do solo. Além disso, evidenciar a importância da cobertura vegetal (plantas e resíduos) na conservação do solo e da água. Na discussão dos resultados, o professor pode ressaltar que a água escoada superficialmente carrega consigo não só as partículas de solo, mas todos os poluentes associados, como nutrientes, pesticidas, metais pesados, organismos patogênicos, lixo, etc. A cor escura (ou avermelhada) mostra que partículas de solo estão sendo carregadas junto com a água. No entanto, a água mesmo límpida pode estar carregando poluentes não-visíveis, como, por exemplo, organismos patogênicos e substâncias tóxicas. O professor pode também discutir a importância da vegetação próxima aos cursos de água, conhecida como mata ciliar, fazendo a relação com os cílios dos olhos, os quais têm a função de proteger. Além do ensino da conservação dos recursos solo e água, esta atividade pode ser usada também para estimular o ensino da matemática por meio do cálculo de perda de água e solo.

7.2. Procedimento

Construir uma caixa retangular de madeira ou metal de 90 × 50 centímetros e com aproximadamente 5 centímetros de altura na parte inferior e 6 centímetros nas laterais e na parte superior (Figura 13). Dividi-la em três partes iguais. Cada compartimento terá 30 × 50 centímetros, o que corresponde a 1.500 centímetros quadrados ou 0,15 metro quadrado. Fazer algumas perfurações na base para evitar que a água se acumule na caixa. Levantar uma das laterais e colocar um suporte a fim de formar pequeno declive (espécie de rampa). Adicionar solo levemente destorreado até à borda da caixa em dois compartimentos. O terceiro compartimento deverá ser preenchido com solo até aproximadamente metade da altura da caixa. A superfície do solo no primeiro compartimento ficará completamente descoberta. A superfície do solo no segundo compartimento será coberta com resíduo vegetal morto (folhas mortas de qualquer vegetal). O terceiro compartimento será preenchido



Figura 11. Poluição de cursos de água por lixo doméstico em área urbana. Foto: S. Bittencourt.

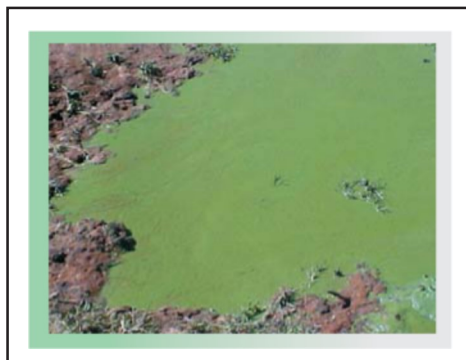


Figura 12. Crescimento de algas decorrente da concentração excessiva de nutrientes na água. Foto: Charles Carneiro.

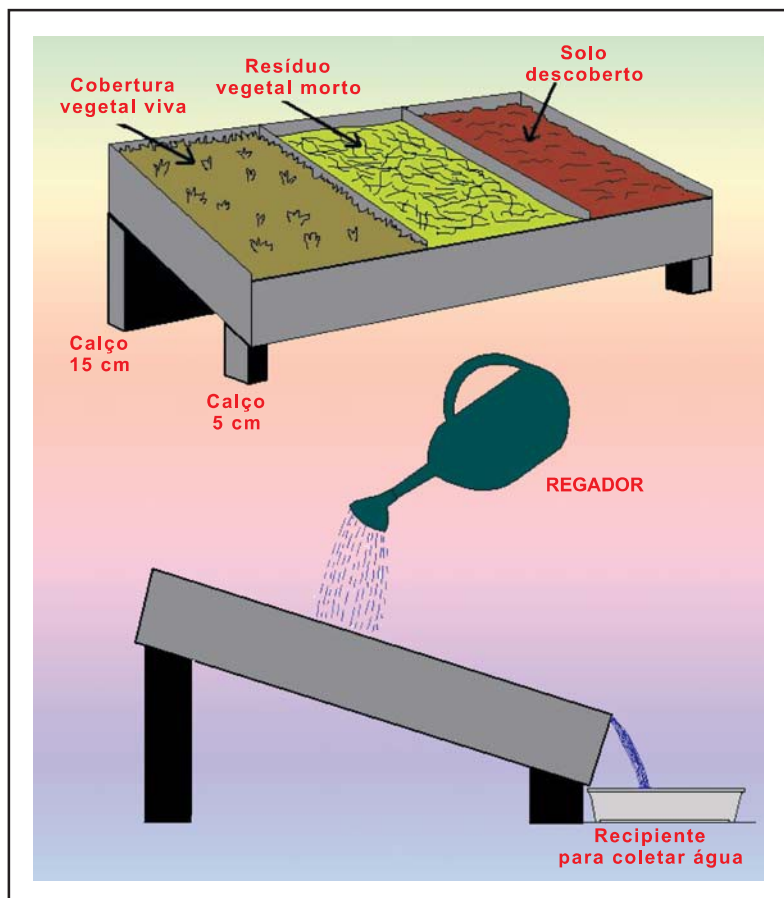


Figura 13. Representação esquemática do procedimento do experimento de erosão do solo. Figura: Marcio Luiz Olesko.

com uma cobertura vegetal viva (coletar uma faixa de 50×30 centímetros de grama com raízes e solo usando uma faca e pá de jardinagem). Todos os compartimentos deverão estar preenchidos até à superfície inferior da caixa, ou seja, 5 centímetros de altura. Com o auxílio de um regador com água, simular uma chuva sobre a superfície de cada compartimento de forma individualizada, ou seja, um de cada vez. Coletar a água escoada separadamente em um recipiente coletor. O ideal é usar uma bandeja da mesma largura do compartimento (30 centímetros) ou maior. Comparar a cor da água coletada nos diferentes tratamentos. Comparar a quantidade de água escoada nos diferentes tratamentos. Comparar a quantidade de solo perdida nos diferentes tratamentos.

7.3. Cálculos

Caso esta atividade seja utilizada no ensino da matemática, a quantidade de água que entra e sai deve ser medida. Portanto, é preciso saber o volume ou o peso da água aplicada em cada compartimento (água do regador). Também precisamos saber a quantidade de água coletada na bandeja coletora. Depois disso é preciso deixar secar a água coletada e pesar a quantidade de solo contido no recipiente, o qual representa o solo perdido (não esquecer de descontar o peso do recipiente). Para facilitar a secagem, deixa-se o solo decantar durante um dia e depois descartar o sobrenadante (a água limpa). Podem-se usar estes resultado para calcular a percentagem de perda de água em relação à quantidade aplicada, bem como a quantidade de solo perdido em grama por metro quadrado. Lembretes: a) 1 grama (g) de água = 1 mililitro (mL) = 1 centímetro cúbico (cm^3); b) 1 quilograma (kg) de água = 1 litro (L) = 1 decímetro cúbico (dm^3) = 1.000 mililitros = 1.000 centímetros cúbicos = 1.000 gramas. Segue o exemplo. No compartimento com solo descoberto, foram aplicados 1.000 mililitros de água (1 litro) e perdidos 800 mililitros, então a percentagem de perda de água é de $(100\% \times 800 \text{ mL}) / 1.000 \text{ mL} = 80\%$. Ou seja, apenas 20% da água aplicada infiltrou no solo, o restante (80%) foi perdido pelo escoamento superficial. Depois de secar a amostra coletada, pesa-se o resíduo, o qual, descontado do peso do recipiente, representa o solo perdido. Considerando que a quantidade de solo residual é de 21 gramas e a área da caixa de 0,15 metros quadrados (m^2) (50×30 centímetros), a perda de solo será de $21 \text{ g} / 0,15 \text{ m}^2 = 140$ gramas de solo perdido por metro quadrado de solo. Se quiser transformar em quilograma por metro quadrado, lembrar que 1 quilograma é igual a 1.000 gramas e, portanto, 140 gramas por metro quadrado é igual a 0,14 quilograma por metro quadrado. Para transformar em quilograma por hectare, lembrar que 1 hectare é igual a 10.000 metros quadrados e, portanto, 140 gramas por metro quadrado = 0,14 quilograma por metro quadrado = 1.400 quilogramas por hectare.

8. REFERÊNCIAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4.ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355p.
- COGO, N.P. **Elementos essenciais em manejo e conservação do solo e da água para aumento da produtividade agrícola e preservação do ambiente**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 2002. 70p. (Apostila de Curso).
- DERPSCH, R.; et. al. **Controle da erosão no Paraná**. Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Londrina: GTZ/IAPAR. 1991. 272p.

GALETTI, P.A. **Práticas de controle à erosão**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1987. 278p.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura. **Manual de conservação do solo**. 3. ed. Porto Alegre: 1985. 287p.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. **Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água**. 2.ed. Florianópolis: EPAGRI, 1994. 338p.

TROEH, F.R.; HOBBS, J.; DONAHUE, R.L. **Soil and water conservation**: productivity and environmental protection. 3.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 610p.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI**: enfrentando a escassez. São Carlos: RIMA, IIE, 2003. 248p.

CAPÍTULO 11

O SOLO NO AMBIENTE URBANO

Valmiqui Costa Lima¹

1. INTRODUÇÃO

Por que deveríamos dar importância e atenção ao solo nas cidades, uma vez que nesse ambiente não se pratica a agricultura? Contudo, também nas cidades, o solo exerce as mesmas e indispensáveis funções comparativamente às zonas rurais, tais como: armazenamento de água, filtragem de substâncias poluentes, além de suportar a vegetação de jardins, praças e parques. Mais que nas áreas rurais, no ambiente urbano, os solos vêm sendo constantemente alterados e degradados pela deposição de diversos tipos de materiais estranhos a eles, assim como pela remoção, inversão e mistura de seus horizontes e camadas. Como resultado, a capacidade do solo em exercer suas múltiplas funções é consideravelmente reduzida, refletindo-se na diminuição da qualidade de vida nas cidades e, como consequência, acarretam enchentes, erosão, poluição das águas, morte de árvores utilizadas na arborização, etc.

2. A IMPORTÂNCIA DO SOLO NA ARBORIZAÇÃO URBANA, PARQUES E JARDINS

Nas cidades, os parques, jardins e praças, as chamadas áreas verdes, são muito importantes, uma vez que constituem áreas de lazer para a população, além de servir de refúgio e abrigo para animais silvestres. A vegetação em geral e, em particular, as árvores, além de apresentar um aspecto de embelezamento, é capaz de contribuir para a estabilidade microclimática, para a melhoria do ar, para minimizar a erosão, auxiliar na redução da poluição sonora e visual e reduzir a insolação direta, refletindo diretamente na qualidade de vida do ambiente urbano. Neste contexto, o solo tem papel decisivo por ser, em última análise, o principal responsável pelo desenvolvimento da vegetação.

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR), E-mail: valmiqui@ufpr.br

A necessidade de criação e manutenção de espaços verdes nas cidades e a rapidez com que os solos urbanos são formados são razões suficientes para desenvolver programas com vistas em conscientizar a população e adotar políticas públicas de proteção aos solos naturais ainda existentes, assim como de iniciativas que visem à recuperação das áreas degradadas.

3. CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS URBANOS

Grande parte dos solos das áreas urbana já sofreu alguma forma de degradação. O tráfego de pedestres e veículos ocasiona o que se chama de compactação, que é diminuição dos espaços porosos, os quais são importantes para a penetração de raízes, da água e do ar. A redução da porosidade dificulta o enraizamento das plantas e constitui obstáculo para que elas atinjam camadas mais profundas, dificultando a fixação das árvores e facilitando a queda pelos ventos.

É freqüente também, nas cidades, encontrarmos áreas em que partes ou todo o solo foram removidos por máquinas de terraplenagem e que apresentam cicatrizes de erosão provocadas pelas águas de chuvas, que levam esse material para entupir bueiros e assorear córregos e rios.

Os solos urbanos sofrem distúrbios e alterações que contribuem para diminuir a sua habilidade natural em suportar o crescimento e desenvolvimento de plantas. As alterações mais comuns são:

- a) Tráfego de pedestre e/ou máquinas ocasionando a diminuição da porosidade do solo;
- b) Decréscimo de aeração, capacidade de infiltração e armazenamento de água e aumento da resistência à penetração de raízes;
- c) Distúrbios na atividade e desenvolvimento dos organismos que vivem no solo;
- d) Alteração na temperatura e na umidade do solo.

Essas e outras características têm enorme influência no desenvolvimento de raízes e no crescimento das plantas.

Restos de materiais utilizados em obras de construção civil são os materiais comumente adicionados aos solos urbanos. Consistem de fragmentos de tijolos, concreto, massa asfáltica, pedra brita, massa para reboco (areia + cal + cimento), madeira, pedras, material cerâmico, vidros, plásticos, dentre outros. Também é muito comum a presença de lixo doméstico ou industrial que, muitas vezes, contém substâncias altamente tóxicas ao ser humano, como é o caso de tintas, pilhas e baterias de automóveis e telefones celulares.

As figuras seguintes são alguns exemplos de situações encontradas com freqüência nas cidades.

A Figura 1a corresponde a um perfil de solo urbano; a Figura 1B mostra um local onde é depositada toda espécie de lixo; a Figura 1C mostra o solo original (à esquerda) e, à direita, o mesmo solo após remoção da sua parte superior, em que foram colocados restos de construção misturados com solo; na Figura 1D, pode-se observar raiz torta em virtude da presença de pedras utilizadas na pavimentação da rua. A Figura 1E mostra uma área erodida pela remoção do solo original.



Figura 1. Exemplos de degradação do solo em ambiente urbano.

Todas essas alterações são provocadas pelo ser humano por meio do processo de urbanização e ocasionam modificações nas propriedades naturais do solo, reduzindo sua capacidade para suportar o desenvolvimento de plantas (árvores, jardins, parques, etc.), assim como para desempenhar o importante papel de armazenagem e filtragem das águas de chuva, evitando enchentes, erosão, deslizamentos e contaminação das águas subterrâneas.

4. ATIVIDADE PROPOSTA

4.1. Objetivo

Conscientizar da necessidade de preservar o solo no seu bairro e na sua escola, evitando a deposição de materiais estranhos, como lixo doméstico ou industrial, materiais de construção, etc., que contaminam o solo e as águas. Além disso, as plantas têm maior

dificuldade em desenvolver nesses locais, em decorrência da presença de elementos tóxicos ou da barreira física que esses materiais oferecem à penetração de raízes.

4.2. Procedimentos

- a) Motivar os alunos para encontrar no bairro onde moram, ou nas vizinhanças da escola, locais onde é depositado lixo;
- b) Pedir para que tenham cuidado ao entrar nesses locais, considerando a presença vidros, resíduos químicos, etc.;
- c) Solicitar que os alunos façam uma relação dos materiais encontrados e a forma como poderiam ser reciclados;
- d) Motivar os alunos para verificar como é o solo da escola e incentivar a arborização. Se todo o solo da escola é recoberto por concreto ou piso, discutir os problemas ambientais deste fato e analisar se o entorno da escola está na mesma condição.

5. REFERÊNCIA

LIMA, V.C. **Fundamentos de pedologia**. Curitiba, Universidade Federal de Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos, 2001. 343p.

A presente publicação torna realidade um dos objetivos do Projeto de Extensão Universitária Solo na Escola, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR, que é desenvolver instrumentos didáticos com a finalidade de auxiliar e facilitar os professores do ensino fundamental e médio a entender e trabalhar o tema solos com seus alunos.

É importante enfatizar que o tema solo pode e deve ser abordado durante todo o curso fundamental e médio, em todas as matérias e disciplinas, de forma interdisciplinar, com diferentes graus de complexidade de acordo com o ciclo em que se está trabalhando. Na presente publicação, procurou-se enfatizar a visão do solo como componente fundamental do meio ambiente, que faz parte do nosso cotidiano, tanto na área urbana quanto rural.

Considerando que esta publicação tem como meta iniciar professores no estudo do solo, foram selecionados conteúdos considerados básicos para compreensão e melhor entendimento do tema, com base nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs). Buscou-se, sempre que possível, dar um tratamento simplificado aos assuntos tratados, como uma maneira de maximizar a sua compreensão, porém sem descuidar do rigor científico.

Os capítulos abordam diversos aspectos relacionados com o solo, tais como: formação, horizontes, morfologia, composição, fertilidade, biologia, classificação, relação solo-paisagem e conservação dos recursos naturais, sempre tendo como principal enfoque a área ambiental.

ISBN: 85-89950-02-6

