

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

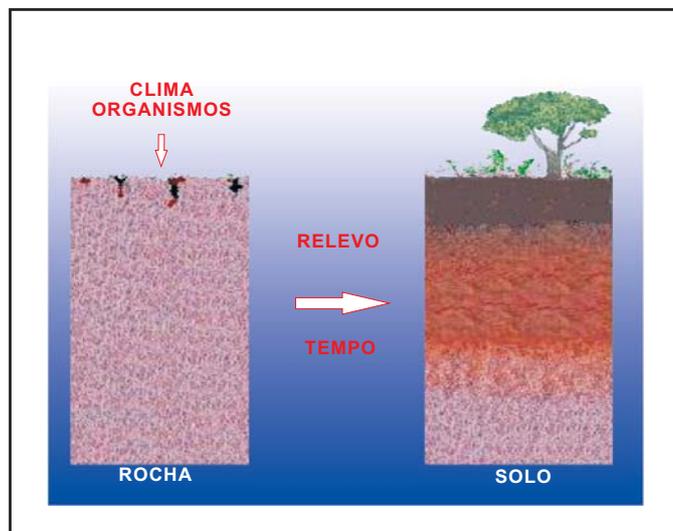


Figura 1. Fatores de formação do solo.

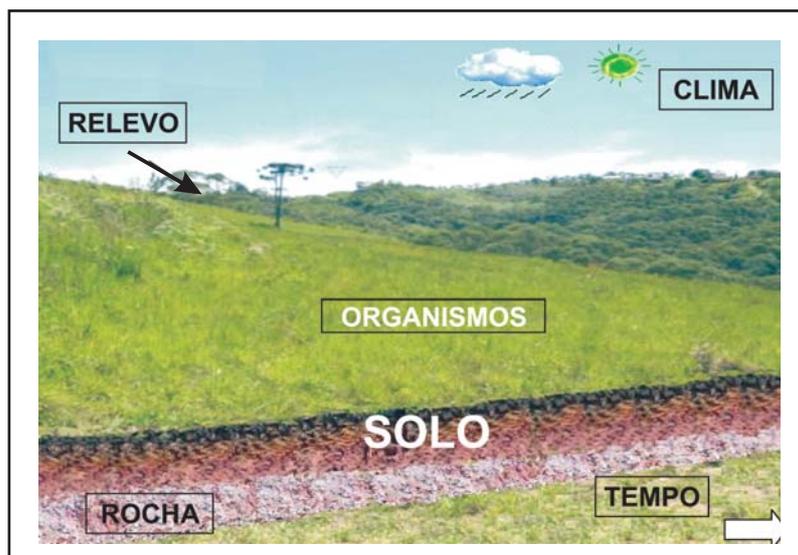


Figura 2. A paisagem e os fatores responsáveis pela formação do solo.

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).

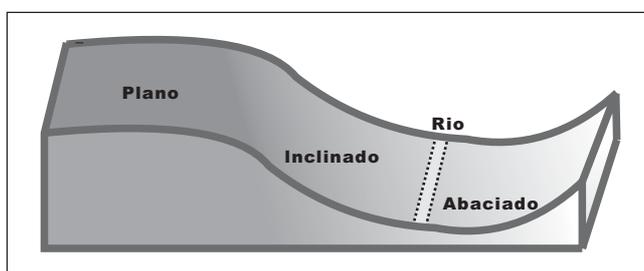


Figura 3. Representação esquemática dos tipos de relevo que ocorrem na paisagem.

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.

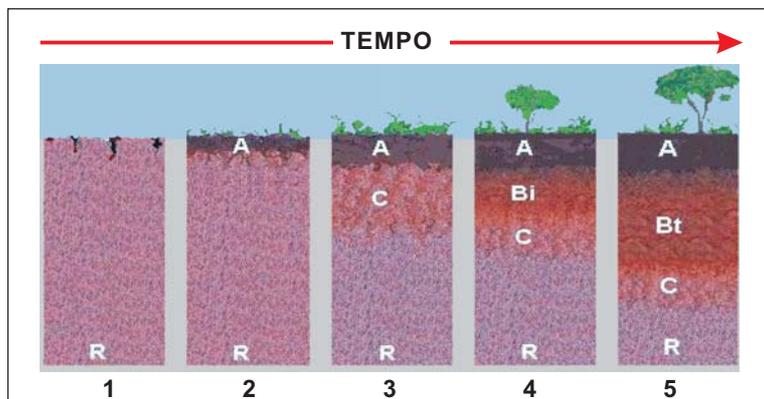


Figura 6. Seqüência cronológica hipotética de evolução do perfil do solo. As letras A, B, C, R são os horizontes e camadas que constituem o solo.

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.