

# capítulo 1

## Solo – definição e importância

Francisco Alisson da Silva Xavier

### Solo como componente-chave do ecossistema

O Sistema Brasileiro de Classificação do Solo define o solo como sendo uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos; contêm matéria viva e podem ser vegetados na natureza e, eventualmente, terem sido modificados por ações do homem (Santos et al., 2018).

O solo é um dos recursos naturais mais importantes para o equilíbrio do ecossistema terrestre, uma vez que interage diretamente com a atmosfera, biosfera, litosfera e hidrosfera (Coleman, 2001). Tem como limite superior o contato com a atmosfera; como limites laterais os corpos d'água superficiais, rochas, gelo, aterros, etc. O limite inferior, em geral, é de difícil definição, mas passa pelo contato com a rocha dura ou materiais que não apresentam sinais de influência de microrganismos.

A partir da superfície, o solo está organizado em seções aproximadamente paralelas, distintas entre si de acordo com as características peculiares a cada seção. Tais seções são denominadas horizontes, que são determinados a partir do próprio processo de formação do solo. Fazendo uma simples analogia, os horizontes seriam a “impressão digital” dos solos, de



modo que o conhecimento desta informação não só é fundamental para o desenvolvimento científico, mas também é muito importante para definir ações de uso e manejo do solo.

Esquemáticamente, os horizontes são nomeados com as letras O, A, B ou C de acordo com sua posição a partir da superfície do solo. Os horizontes superficiais empregam as letras O ou A, enquanto os subsuperficiais a letra B. O horizonte C é o que está imediatamente em contato com o material de origem em profundidade e ainda é pouco intemperizado. A formação dos horizontes ocorre pela ação simultânea de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo, que determinam as suas características de cor, teor de argila, presença de alumínio, sódio, ferro, etc. No horizonte superficial é onde ocorre maior acúmulo de matéria orgânica e é aquele que pode ser mais facilmente modificado pelas ações do homem.

O solo é um produto da ação conjugada de diferentes fatores de formação:

- a) o material de origem ou rocha matriz que é submetida ao intemperismo, que a fragmenta mas mantém as características químicas e físicas essenciais dos solos.
- b) o clima, que atua com as variações da temperatura, da chuva e do vento e governa a intensidade do intemperismo e aumenta ou diminui o tempo para a formação dos solos.
- c) o relevo, com as suas diferentes posições topográficas (planícies, encostas e baixadas) e altitudes, determinam se cada solo perde ou recebe material de outros solos.
- d) os organismos, como vegetação, animais e microrganismos no solo, em resposta às condições climáticas e ambientais, afetam diversos parâmetros específicos dos solos.
- d) o tempo, um dos mais importantes fatores, pois define a idade e a intensidade da atuação dos demais fatores de formação.

O solo é composto pelas fases sólida, líquida, gasosa e orgânica. A fase sólida é constituída pelos minerais, que compõem, em média, 45% do volume. As fases líquida e gasosa ocupam o espaço poroso, que pode representar até 50% do volume. A fase orgânica é representada pela matéria orgânica do solo, que raramente ultrapassa 5% do volume. Embora corresponda a menor porção, a matéria orgânica regula uma série de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo. Ela é fundamental para mantê-lo vivo, pois representa uma fonte de energia para os microrganismos que nele habitam. Graças à presença da comunidade microbiana, o solo não pode ser visto como um corpo inerte, que funciona somente como suporte físico para as plantas.

No mundo inteiro os solos são separados por classes. Cada classe reúne características próprias que são expressas nos seus horizontes, tais como: teor de argila, cor, teor de nutrientes, profundidade, tipo de estrutura, etc. Para facilitar ou permitir a distinção dos diferentes tipos, foram criados os sistemas de classificação de solo, que reúnem todas as informações relevantes e necessárias para enquadrá-los em suas respectivas classes. O sistema de classificação mais antigo foi desenvolvido pela Sociedade Internacional de Ciência do Solo para os países da Europa, que originou o hoje conhecido sistema World Reference Base for Soil Resources (WRB), cuja tradução em português é “Base Mundial de Referência para Recursos do Solo”. Outro sistema mundialmente conhecido, desenvolvido para os Estados Unidos, é o Sistema Americano de Classificação do Solo, ou em inglês, Soil Taxonomy. Neste sistema de classificação os solos são divididos por ordens em vez de classes. O Brasil também possui um sistema de classificação dos solos, que foi originado a partir da evolução dos sistemas já existentes, especialmente do sistema americano. Devido às diferenças nos critérios de separação e nos mais variados tipos de solo, não existe uma relação direta entre os diferentes sistemas de classificação de solos. Ou seja, um solo classificado pelo sistema brasileiro não encontrará exatamente uma correspondência com o sistema europeu ou americano, porém encontra-se uma aproximação.

O sistema brasileiro de classificação considera a separação de 13 classes de solo, sendo estas: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodosolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos. Esta divisão corresponde ao 1º nível categórico, que pode se estender até o 4º nível, como por exemplo, LATOSSOLOS AMARELOS Distrocoesos típicos. Não é objetivo da abordagem deste capítulo discutir, ou apresentar, as diferenças entre as classes de solo do sistema brasileiro, de modo que estas informações podem ser consultadas em algumas publicações mais especializadas (Santos et al., 2018) ou no portal da Embrapa<sup>1</sup>.

## Funções do solo e o impacto dos sistemas agrícolas

Antes de entender as funções do solo é preciso considerar que atributos são mais determinantes para cada função. A funcionalidade de um solo é determinada pela relação existente entre seus atributos físicos, químicos e biológicos. Os principais atributos físicos relacionados com as funções do solo são: granulometria (distribuição das partículas sólidas por classes de tamanho e frequência: areia, silte e argila), densidade do solo, porosidade, resistência à penetração de raízes, velocidade de infiltração da água e estabilidade de agregados. Como atributos químicos podem-se citar: pH, teor de carbono orgânico, saturação por bases, saturação por alumínio, teores de fósforo e potássio disponíveis, capacidade de troca de cátions, dentre outros. Os atributos biológicos mais relacionados com a funcionalidade dos solos são: carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, respiração do solo (emissão de CO<sub>2</sub>), presença de micorrizas e atividade enzimática (ex. fosfatase). Estima-se que exista em torno de 10 toneladas de microrganismos por hectare na camada de 0 a 10 cm de profundidade (Balota, 2017).

---

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>.

Os solos possuem uma série de funções no meio ambiente, que são chamadas de funções do solo. Tais funções assumem um papel importante na mediação de processos-chaves na natureza, tais como: fornecer nutrientes para as plantas e organismos, regular a dinâmica da água no ambiente, atuar como poder tampão atenuando a ação de contaminantes, regular a emissão de gases de efeito estufa e, sobretudo, influenciar a saúde dos homens e animais. Considerando que o ecossistema fornece uma ampla gama de bens e serviços em favor da humanidade, as funções do solo dão suporte à prestação de serviços do ecossistema. Estes serviços podem ser divididos em quatro categorias:

- a) serviços de provisão – diretos ou indiretos para o homem, tais como o fornecimento de água doce, madeira, fibra e combustível.
- b) serviços regulatórios – regulação do teor de gases e água no solo e na atmosfera, clima, inundações, erosão, polinização e doenças.
- c) serviços culturais – estética, espiritual, educacional e recreação.
- d) serviços de suporte – ciclagem de nutrientes, produção primária, habitação e biodiversidade. Sendo assim, para o ecossistema funcionar perfeitamente dentro dos limites da sustentabilidade é necessário que o solo e suas funções sejam preservados, quer seja em um ambiente natural ou em área manejada pelo homem.

Monitorar as funções do solo é um passo importante para manter a produtividade de um sistema agrícola. A escolha das funções que devem ser constantemente monitoradas depende das condições regionais e da especificidade da atividade agrícola. Por exemplo, Souza (1996, 1997) considerando as limitações agrícolas de solos de Tabuleiros Costeiros, estabeleceu relações com seu uso e manejo e com a produtividade das culturas. Concluiu que quaisquer interferências de uso e manejo em tais

solos, no sentido de aumentar a produtividade das culturas, estiveram relacionadas com as seguintes funções:

- a) melhoria do crescimento do sistema radicular em profundidade. Para tanto, devem ser superados os problemas de impedimento físico e químico ao crescimento radicular em profundidade;
- b) aumento da capacidade de armazenamento da água no perfil do solo. Deve-se minimizar as limitações impostas pelas camadas coesas que criam uma zona que restringe a passagem da água no perfil do solo, provocando rápido secamento do solo próximo à superfície; e
- c) melhoria dos atributos químicos do solo, por meio da calagem, gessagem e adubação, visando diminuir a saturação por alumínio e aumentar o suprimento de nutrientes. Assim, um conjunto de atributos físicos, químicos e/ou biológicos que mais influenciam uma determinada função pode ser empregado como indicadores úteis para monitorar o estado atual do funcionamento do solo.

Considerando a importância das funções do solo para o ecossistema, o conceito de fertilidade do solo tem sido erroneamente reduzido para expressar a quantidade de nutrientes que este possui. Nesse contexto, tem-se como solo fértil aquele que possui elevada quantidade de nutrientes. Não é razoável entender a fertilidade do solo a partir de um conceito reducionista voltado apenas para monitorar o status de nutrientes, mas sim considerar a gama de funções que este deve exercer. Sendo assim, seria muito mais aceitável concordar com o conceito estabelecido por Marcos (1982) que considera "Solo ideal, ou solo fértil, aquele que é capaz de fornecer água, ar, calor e nutrientes às plantas, no momento e na medida em que elas necessitam". Na concepção deste conceito as funções do solo e suas relações com a planta são priorizadas. Fornecer água, ar, calor e nutrientes depende da inter-relação entre os atributos físicos, químicos e biológicos responsáveis pela funcionalidade dos solos.

A mudança do uso do solo, quando há conversão da floresta nativa para sistemas agrícolas intensivos, provoca no ato da derrubada e queima da floresta uma grande emissão de carbono para a atmosfera e alterações drásticas nas funções do solo, pois o estabelecimento de áreas agrícolas implica no frequente revolvimento do solo e na diminuição da cobertura vegetal. Esse intenso revolvimento do solo geralmente se dá por meio de práticas agrícolas mecanizadas, como aração e gradagem, que ao serem empregadas sem critérios técnicos adequados destroem a estrutura original do solo, rompendo os agregados e compactando as camadas superficiais; facilita a perda da matéria orgânica que é rapidamente transformada e liberada na forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para a atmosfera; desequilibra a atividade dos microrganismos do solo, que reflete negativamente na ciclagem de nutrientes. Entretanto, as perdas das funções do solo podem ser amenizadas após a conversão da floresta em agricultura a partir do desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis, ou seja, que empreguem práticas agrícolas de modo racional e equilibrado. Nesse sentido, dois pilares básicos devem ser atendidos:

- a) diminuir o revolvimento do solo; e
- b) manter a cobertura vegetal na sua superfície.

Diminuir o revolvimento do solo implica em melhoria da infiltração de água, diminuição da densidade do solo e da resistência à penetração de raízes, manutenção do espaço poroso, favorecimento do equilíbrio da comunidade de microrganismos, diminuição da perda de matéria orgânica, dentre outros benefícios. Já a manutenção de cobertura vegetal retém a umidade do solo por mais tempo, fornece matéria orgânica e protege o solo contra o impacto das gotas de chuva, o que diminui a erosão e o potencial de compactação e aumenta a diversidade de organismos no ambiente.

Não existem modelos de sistemas agrícolas mais sustentáveis que possam ser replicados para as mais diferentes regiões e condições ambientais. O desenvolvimento de sistema agrícola que cause menor impacto sobre a funcionalidade do solo deve considerar as peculiaridades do clima, disponibilidade de recursos, espaço, topografia, relevo, espécies mais adaptadas, mão de obra, dentre outros aspectos. Cada cultura agrícola responde diferentemente a uma determinada condição de clima e solo, de modo que uma pode ser mais exigente por algum fator de produção em relação a outra. Portanto, é preciso que haja um esforço, não somente da pesquisa, como também da percepção natural do (a) agricultor(a) em gerar valores de referência de atributos (físicos, químicos e biológicos) do solo que retratem uma condição ideal para uma determinada cultura. Por exemplo, o valor de pH do solo que limita a produção de citros não é o mesmo que limita a cultura da mandioca. A mesma análise pode ser feita para a resistência à penetração de raízes. Assim, a pergunta se este ou aquele solo é fértil deve ser acompanhada de uma resposta na forma de uma nova pergunta: fértil para qual objetivo ou cultura?

## Produção agrícola e o potencial de degradação do solo

A forma como o solo é manejado na produção agrícola está diretamente relacionada com o seu potencial de degradação, afetando seu funcionamento e a manutenção dos serviços do ecossistema. Entende-se por manejo inadequado do solo ações praticadas na propriedade agrícola que acarretam: erosão, compactação, perda da capacidade de drenar a água, acidificação, diminuição da matéria orgânica, redução de nutrientes, lixiviação, redução da biota e da diversidade e aumento de patógenos. Quando as práticas agrícolas, principalmente as mecanizadas, são feitas sem critérios técnicos norteadores, o potencial de degradação do solo aumenta. Inicialmente as perdas de solo e nutrientes ocorrem

sutilmente, quase imperceptíveis. Entretanto, o potencial produtivo do solo diminui exponencialmente até que as constatações visuais, como presença de voçorocas, exposição da camada subsuperficial, etc., tornem-se mais visíveis.

Estima-se que haja cerca de dois bilhões de hectares de solos degradados no mundo, e cerca de 84% deste total tem como causa principal a erosão (Nkonya et al., 2011). A taxa média anual de perda de solo por erosão no mundo é estimada em 2,4 toneladas por hectare (Wuepper et al., 2020). A perda de solo é considerada um dos prejuízos mais sérios causados pela erosão, dada à lenta velocidade de recuperação desse recurso natural (Balota, 2017). Estudos estimam que uma camada de um centímetro de espessura de solo pode levar mais de 100 anos para ser formada, o que pode ser facilmente perdida por ocasião de uma chuva intensa. Assim, as ações de manejo sustentável do solo devem ser orientadas para a manutenção da cobertura do solo, o que diminui o potencial erosivo das chuvas. As estimativas de perdas de solo no Brasil são alarmantes, como aponta o estudo conduzido por Dechen et al. (2015). Estima-se que anualmente são perdidos mais de 600 milhões de toneladas de solo, perdas estas que estão mais associadas ao processo de erosão em lavouras anuais. Somente considerando as perdas de P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, nas formas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, KCl e CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, gera-se um custo anual da ordem de 1,3 bilhões de dólares.

Outra causa que está diretamente associada ao processo de degradação dos solos agrícolas é a perda da matéria orgânica. A matéria orgânica influencia os atributos físicos, químicos e biológicos que estabelecem a funcionalidade do solo. Por exemplo, tem papel fundamental na formação e na estabilidade dos agregados do solo, aumenta a capacidade de retenção de água e a capacidade de troca de cátions, fornece nutrientes, é uma fonte direta de energia para os microrganismos, o que afeta a ciclagem de nutrientes no solo. Portanto, práticas agrícolas que diminuem os teores de matéria orgânica, ou mais necessariamente,

aceleram a oxidação do carbono orgânico do solo, devem ser evitadas. O tipo de preparo do solo (revolvimento), o manejo da cobertura vegetal, a aplicação de adubos, espécies cultivadas, arranjo das culturas (monocultivo, consórcio ou policultivos) são fatores que interferem nos teores de matéria orgânica do solo. O revolvimento intensivo da superfície do solo é um dos principais meios para acelerar as perdas da matéria orgânica. Isso ocorre quando práticas como aração e gradagem são feitas rotineiramente e sem padrão técnico adequado na propriedade. Solos bem estruturados possuem agregados estáveis. A estabilidade dos agregados, dentre outros fatores, é influenciada pela matéria orgânica do solo, que age como um cimento unindo as partículas de areia, silte e argila. Assim, tanto no interior como entre os agregados do solo existe a presença de matéria orgânica, que pode ficar protegida no solo durante muito tempo desde que não haja a quebra dos agregados. A passagem constante dos implementos agrícolas promove a destruição dos agregados do solo, expondo a matéria orgânica que estava no seu interior. Ao ficar disponível, ela é facilmente decomposta pela ação dos microrganismos do solo ou oxidada pela ação dos raios solares. Assim, o carbono orgânico do solo é transformado no gás  $\text{CO}_2$  que é liberado para a atmosfera. O processo de degradação do solo então se estabelece com a redução da matéria orgânica.

Felizmente, muitas tecnologias estão disponíveis para evitar a degradação dos solos agrícolas. O manejo do solo obedecendo aos princípios de conservação pode manter a capacidade produtiva da terra e evita desencadear o processo de degradação. A concepção de agricultura sem cuidados com o solo, utilizando-o somente como suporte para crescimento das plantas, deve ser evitada. Tampouco estimula-se aqui o abandono do uso de implementos agrícolas ou práticas mecânicas realizadas durante o preparo e/ou cultivo do solo. A utilização da mecanização deverá sempre obedecer a critérios técnicos, o que vai desde conhecer o tipo de implemento a ser usado para um determinado fim até saber a umidade de solo adequada para sua utilização. Outras

informações técnicas mais específicas sobre este tema serão fornecidas no capítulo “Manejo e Conservação do Solo”.

## Referências

- BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Londrina: Mecenas, 2017. 288 p.
- COLEMAN, D. C. Soil biota, soil systems, and processes. **Encyclopedia of Biodiversity**, v. 5, p. 305-314, 2001.
- DECHEN, S. C.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; DE MARIA, I. C. Losses and costs associated with water erosion according to soil cover rate. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 224-233, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0363>.
- MARCOS, Z. Z. Ensaio sobre epistemologia pedológica: 1. Definição de solo. 2. Natureza e comportamento do solo. **Cahiers ORSTOM**: série pédologie, v. 19, n. 1, p. 5-23, 1982.
- NKONYA, E.; GERBER, N.; BAUMGARTNER, P.; VON BRAUN, J.; DE PINTO, A.; GRAW, V.; KATO, E.; KLOOS, J.; WALTER, T. **The economics of desertification, land degradation, and drought**: toward an integrated global assessment. Bonn: Center for Development Research, 2011. 184 p. (ZEF Discussion Papers on Development Policy, n. 150).
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
- SOUZA, L. S. da. Aspectos sobre o uso e manejo dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. **Boletim Informativo da SBCE**, v. 22, p. 34-39, 1997.
- SOUZA, L. S. da. Uso e manejo dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. **Anais...** Aracaju, EMBRAPA/EAUFBA/IGUFBA, 1996. p. 36-75.
- WUEPPER, D.; BORRELLI, P.; FINGER, R. Countries and the global rate of soil erosion. **Nature sustainability**, v. 3, p. 51-55, 2020.

