

AMOSTRAGEM E CALAGEM DO SOLO



SISTEMA FAEP



SENAR - ADMINISTRAÇÃO REGIONAL DO ESTADO DO PARANÁ

CONSELHO ADMINISTRATIVO

Presidente: Ágide Meneguette

Membros Titulares

Rosanne Curi Zarattini

Nelson Costa

Darci Piana

Alexandre Leal dos Santos

Membros Suplentes

Livaldo Gemin

Robson Mafioletti

Ari Faria Bittencourt

Ivone Francisca de Souza

CONSELHO FISCAL

Membros Titulares

Sebastião Olímpio Santaroza

Paulo José Buso Júnior

Carlos Alberto Gabiatto

Membros Suplentes

Ana Thereza da Costa Ribeiro

Aristeu Sakamoto

Aparecido Callegari

Superintendente

Pedro Carlos Carmona Gallego

CARLA FERNANDA FERREIRA

AMOSTRAGEM E CALAGEM DO SOLO

**CURITIBA
SENAR-AR/PR
2025**

Depósito legal na CENAGRI, conforme Portaria Interministerial n.º 164, datada de 22 de julho de 1994, junto à Biblioteca Nacional e ao SENAR-AR/PR.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida, por qualquer meio, sem a autorização do editor.

Autora: Carla Fernanda Ferreira

Coordenação técnica: Guilherme Stalchmidt Schulze

Coordenação pedagógica: Leandro Aparecido do Prado

Coordenação gráfica: Carlos Manoel Machado Guimarães Filho

Diagramação: Sincronia Design Gráfico Ltda.

Normalização e revisão final: CEDITEC – SENAR-AR/PR

Catálogo no Centro de Editoração, Documentação e
Informação Técnica do SENAR-AR/PR

<p>F383</p> <p>Ferreira, Carla Fernanda</p> <p>Amostragem e calagem do solo [livro eletrônico] / Carla Fernanda Ferreira. — Curitiba : SENAR AR/PR, 2025.</p> <p>10240 KB; PDF.</p> <p>ISBN 978-85-7565-284-8</p> <p>1. Solos. 2. Ciência do solo. 3. Solos - Amostragem. 4. Solos - Manejo. 5. Calagem dos solos. 6. Solos – Paraná. I. Título.</p> <p>CDD: 631.4</p>
--

Bibliotecária responsável: Luzia Glinski Kintopp - CRB/9-1535

IMPRESSO NO BRASIL – DISTRIBUIÇÃO GRATUITA



APRESENTAÇÃO

O Sistema FAEP é composto pela Federação da Agricultura do Estado do Paraná (FAEP), o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural do Paraná (SENAR-PR) e os sindicatos rurais.

O campo de atuação da FAEP é na defesa e representação dos milhares de produtores rurais do Paraná. A entidade busca soluções para as questões relacionadas aos interesses econômicos, sociais e ambientais dos agricultores e pecuaristas paranaenses. Além disso, a FAEP é responsável pela orientação dos sindicatos rurais e representação do setor no âmbito estadual.

O SENAR-PR promove a oferta contínua da qualificação dos produtores rurais nas mais diversas atividades ligadas ao setor rural. Todos os treinamentos de Formação Profissional Rural (FSR) e Promoção Social (PS), nas modalidades presencial e *online*, são gratuitos e com certificado.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	7
1. CONCEITOS, FORMAÇÃO E ORIGEM DOS SOLOS.....	9
1.1 ENTENDIMENTO DO SOLO COMO BASE DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA.....	9
1.2 FORMAÇÃO E ORIGEM DOS SOLOS	13
2. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO QUANTO À ABERTURA DE PERFIS	21
2.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS	22
2.2 PROPRIEDADES QUÍMICAS DOS SOLOS	28
2.3 ABERTURA DE TRINCHEIRAS PARA AVALIAÇÃO DO SOLO	38
2.4 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DOS SOLOS	40
3. PRINCIPAIS CLASSES DE SOLO DO PARANÁ.....	47
3.1 LATOSSOLOS	47
3.2 ARGISSOLOS	49
3.3 NEOSSOLOS.....	52
3.4 PLINTOSSOLOS	54
4. AMOSTRAGEM DE SOLO.....	55
4.1 PROCESSO DE AMOSTRAGEM	55
4.2 FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM	57
4.3 PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM.....	58
4.4 ÁREA DE AMOSTRAGEM	58
4.5 ANÁLISE DE SOLO DA AMOSTRA COLETADA.....	59
5. MECANISMOS DE PERDA.....	61
5.1 PROCESSOS EROSIVOS.....	61
5.2 LIXIVIAÇÃO	67
5.3 EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES.....	68
6. LEIS DA FERTILIDADE	69
6.1 A LEI DA RESTITUIÇÃO.....	69
6.2 A LEI DO MÍNIMO	69
6.3 LEI DOS INCREMENTOS DECRESCENTES	70
7. FORMAS DE ADUBAÇÃO	71
7.1 ADUBAÇÕES DE BASE NO PLANTIO	71
7.2 ADUBAÇÕES EM COBERTURA	73
7.3 ADUBAÇÕES FOLIARES.....	74
7.4 TRATAMENTO DE SEMENTES.....	75

8. CALAGEM, TIPOS DE CALCÁRIOS, REATIVIDADES E CÁLCULOS.....	77
8.1 CONCEITOS DE ACIDEZ ATIVA E ACIDEZ POTENCIAL DOS SOLOS.....	77
8.2 MÉTODOS DE RECOMENDAÇÃO DE APLICAÇÃO DE CALAGEM.....	78
8.3 PRINCIPAIS CORRETIVOS AGRÍCOLAS.....	80
8.3.1 Carbonatos.....	80
8.3.2 Hidróxidos.....	81
8.3.3 Óxidos.....	81
8.3.4 Gesso agrícola.....	81
REFERÊNCIAS	83

INTRODUÇÃO

O solo costuma ser tratado como um recurso natural inesgotável, porém sofre desgaste constante. Nas áreas agrícolas, os cultivos contínuos esgotam seus nutrientes, enquanto nas zonas urbanas ocorre perda de material devido a processos de escavação. Os sistemas agrícolas são caracterizados pelo uso intenso e muitas vezes indiscriminado do solo. Uma das poucas exceções é a hidroponia, que dispensa o uso do solo ao produzir alimentos apenas com água e nutrientes. Nos modelos convencionais, a retirada da biodiversidade para dar lugar a monoculturas altera profundamente a dinâmica ecológica e modifica a composição nutricional do solo.

Contudo, esse recurso levou milhões de anos para se formar e apresenta diversas limitações quanto ao seu uso e gerenciamento. E você, já refletiu sobre a relevância do solo e as funções que ele desempenha? É capaz de reconhecer seus pontos fortes e fracos no contexto brasileiro? Consegue identificar a relevância do solo para o meio ambiente e para o uso e manejo do solo nas propriedades agrícolas?

Este material didático oferece um estudo completo sobre os solos, desde conceitos básicos até a compreensão de sua formação, morfologia e propriedades principais, para ajudar nessas reflexões. Ademais, serão abordadas as classes de solos mais frequentes no estado do Paraná, bem como suas potencialidades e limitações, fornecendo suporte para o manejo sustentável e para a valorização desse recurso fundamental para a vida. Além disso, serão discutidos aspectos relacionados ao manejo do solo, como a correção da acidez e a aplicação de corretivos e condicionantes agrícolas.

Objetivando definir conceitos relacionados com as ciências dos solos, principalmente aspectos envolvidos na formação, origem e características das principais classes de solos no Paraná, este material traz informações necessárias aos profissionais do campo para melhor compreensão desse recurso natural e, conseqüentemente, melhor otimização dos fertilizantes e corretivos agrícolas, proporcionando maior sustentabilidade às suas áreas de produção.

A análise dos solos é fundamental, pois esse recurso natural exerce diversas funções que são essenciais para a preservação da vida e para o progresso das atividades humanas. Primeiramente, ele serve como base física para o crescimento das plantas, oferecendo suporte, nutrientes e água fundamentais para seu desenvolvimento e, no contexto da produção agrícola, permitindo alcançar altos níveis de produtividade. A agricultura, atividade fundamental para a produção de alimentos, só é possível em função da fertilidade do solo e de correções químicas. A produtividade agrícola diminui quando o solo é degradado ou mal manejado, o que afeta a segurança alimentar e, por sua vez, a qualidade de vida das pessoas.

A análise dos solos ganha ainda mais importância no contexto brasileiro. O Brasil apresenta uma ampla variedade de solos, incluindo Latossolos, Argissolos, Neossolos e Cambissolos, cada um com suas características, limitações e capacidades. Compreender essas classes possibilita direcionar o uso apropriado de cada área, prevenindo práticas que possam causar degradação. Por exemplo, solos pouco profundos e pedregosos não são adequados para cultivos intensivos, mas podem ser utilizados de forma eficiente em atividades de reflorestamento ou preservação. Solos mais profundos e bem estruturados têm alto potencial agrícola, desde que sejam tratados e corrigidos adequadamente.

Compreender os solos também subsidia questões ambientais comuns no Brasil, como a erosão hídrica, que afeta a fertilidade, provoca o assoreamento de rios, acumulando sedimentos como areia e argila, e diminui a vida útil dos reservatórios. A elaboração de políticas públicas voltadas à conservação do solo e da água depende de informações essenciais obtidas por meio do mapeamento e da classificação dos solos.

Do ponto de vista econômico, entender a dinâmica dos solos também é crucial. A produtividade na agricultura depende diretamente da fertilidade do solo, seja ela natural, seja corrigida, o que requer investimentos em calagem (aplicação de calcário no solo para corrigir acidez), adubação e práticas de manejo sustentáveis. Na ausência desse conhecimento, pode haver desperdício de recursos, redução da produção, elevação dos custos e efeitos negativos no meio ambiente.

Diante disso, a análise do solo vai além do interesse acadêmico e se torna uma necessidade prática para preservar esse recurso não renovável. Essa avaliação precisa ser prioridade em políticas públicas, em iniciativas do setor agrícola e em estratégias de conservação ambiental. O solo desempenha papel central na regulação dos ciclos biogeoquímicos, responsáveis pela renovação dos elementos químicos essenciais à manutenção dos ecossistemas.

Reconhecer sua importância, entender suas características e implementar práticas de manejo adequadas são medidas essenciais para assegurar que esse recurso natural esgotável continue desempenhando seu papel tanto no presente quanto nas gerações futuras.

Reflexão

Como as mudanças climáticas podem alterar o regime hídrico do solo e afetar a produtividade agrícola na sua região?

1. CONCEITOS, FORMAÇÃO E ORIGEM DOS SOLOS

Os solos são corpos tridimensionais formados por partículas minerais e compostos orgânicos, cuja proporção varia ao longo da paisagem. Sua formação resulta da degradação de minerais e rochas pela ação dos agentes intempéricos ao longo de longos períodos em escala geológica. Também envolve o acúmulo de matéria orgânica, influenciado pela composição florística e pela atividade microbiana, que contribuem para a evolução e diferenciação das camadas do solo.

? VOCÊ SABIA?

O intemperismo do solo é o conjunto de processos que quebram e transformam as rochas em partículas menores, formando o solo. Ele pode ser físico, quando as rochas se fragmentam por mudanças de temperatura ou gelo; químico, quando reações transformam minerais; ou biológico, quando plantas, raízes e microrganismos contribuem para a decomposição. Esses processos não param nunca e atuam de forma diferente dependendo do clima, relevo e composição da rocha, determinando características como textura, fertilidade e profundidade do solo.

Apresenta características distintas ao longo da paisagem terrestre, com variações em suas propriedades químicas e físicas. Essas diferenças influenciam a capacidade de retenção de nutrientes e os parâmetros eletroquímicos, assim como o acúmulo de água e de matéria orgânica.

As diferenças entre os solos constituem importantes evidências da interação entre a paisagem, o tempo e o material de origem. Cada solo é resultado de um longo processo de formação, no qual fatores como relevo, clima e organismos atuam de maneira conjunta. Assim, suas variações em cor, textura, profundidade e composição química revelam não apenas o tipo de material de origem, mas também as transformações que ocorreram ao longo do tempo, tornando o solo um registro da evolução ambiental e geológica de uma paisagem.

1.1 ENTENDIMENTO DO SOLO COMO BASE DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

O solo é resultado da interação contínua entre o clima, a atividade dos organismos e o material de origem, considerando também sua posição na paisagem e o tempo de formação. Essa dinâmica gera diferentes camadas no perfil do solo, com características que possibilitam a identificação dos horizontes, tanto superficiais quanto subsuperficiais.

Conceito-chave

Horizonte do solo é cada camada com características físicas, químicas e biológicas distintas, formadas ao longo da pedogênese, que é o nome atribuído ao processo de formação dos solos, produzidos pela degradação ou composição das rochas, além da junção de fatores químicos, físicos e biológicos.

Embora constitua uma grande parte do globo terrestre, trata-se de um recurso finito devido à sua lenta taxa de formação, especialmente no caso dos solos aptos à agricultura. Por isso, é necessário respeitar seus limites de uso, considerando fatores como a capacidade de infiltração e armazenamento de água, tipos e proporções de textura, profundidade e afloramentos rochosos.

Em síntese, é necessário avaliar as propriedades morfológicas, físicas e químicas para compreendê-lo. Essas características determinam o nível de erodibilidade, que indica a facilidade com que o solo pode ser transportado pela água ou vento, e influenciam a perda de nutrientes. Como consequência, afetam diretamente o potencial produtivo e a manutenção de condições favoráveis aos cultivos agrícolas (Figura 1).

Figura 1 – Área degradada com empobrecimento do solo devido à perda de nutrientes, processo intensificado pela erosão acelerada.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2017.

Dentre esses fatores, o clima se destaca por controlar a intensidade dos processos de intemperismo, que correspondem ao desgaste e à decomposição das rochas. A atividade dos seres vivos contribui para a decomposição e a reciclagem de nutrientes. O relevo define a drenagem e a estabilidade da paisagem. O tempo é essencial para que todas essas transformações ocorram e resultem na formação do solo.

A percepção do solo como um recurso indispensável à agricultura ultrapassa sua estrutura física: trata-se de um verdadeiro sistema vivo, capaz de permitir o desenvolvimento das plantas ao fornecer a elas suporte mecânico, água e nutrientes. Nesse ambiente, registram-se interações entre as raízes das plantas, os microrganismos que habitam o solo e os elementos químicos, responsáveis tanto pelo desenvolvimento das plantas quanto pela nutrição dos microrganismos.

Desse modo, uma estrutura bem-formada, a porosidade equilibrada e o enriquecimento de matéria orgânica criam as condições ideais para o desenvolvimento radicular e para a absorção de nutrientes, o que, por sua vez, reflete-se na produtividade.

Figura 2 – Agregação do horizonte superficial do solo pelo enriquecimento da matéria orgânica associado ao sistema radicular.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2017.

Concomitantemente, o solo funciona como um reservatório natural de água, regulando a disponibilidade desse recurso para as plantas ao longo das safras. Solos bem manejados e com boa capacidade de retenção hídrica reduzem os efeitos negativos dos períodos secos e aumentam a eficiência do uso da água nas lavouras.

O nível de umidade do solo pode diminuir quando há redução da porosidade por compactação, baixa infiltração nas camadas subsuperficiais ou degradação da matéria orgânica. Esses problemas elevam os custos com irrigação ou resultam em perdas econômicas significativas. Conservar a estrutura do solo significa, portanto, assegurar maior estabilidade produtiva.

Outro aspecto fundamental é o papel do solo na reciclagem de nutrientes. A matéria orgânica, os minerais e a biota (que corresponde ao conjunto de organismos que vivem no ambiente) interagem continuamente para disponibilizar elementos essenciais como nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes.

A troca equilibrada entre a extração de nutrientes pelas plantas, a exportação desses nutrientes pelas colheitas e o retorno gradual de parte deles por meio da decomposição dos resíduos orgânicos em sistemas conservacionistas de manejo permite manter e até aumentar a fertilidade em solos utilizados com rotações de culturas. Em contraste, solos exauridos, excessivamente ácidos ou naturalmente pobres em nutrientes exigem correções frequentes e de alto custo, o que eleva as despesas de produção e intensifica os impactos ambientais.



PARA SABER MAIS

O pH do solo influencia diretamente sua estrutura, porosidade e matéria orgânica. O pH representa o nível de acidez ou alcalinidade de uma solução, sendo medido em uma escala que indica a concentração de íons hidrogênio. Solos com acidez equilibrada favorecem a atividade microbiana e a absorção de nutrientes, enquanto a correção da acidez com calcário melhora o desenvolvimento radicular e aumenta a produtividade.

O manejo adequado do solo é essencial para garantir a conservação agrícola em longo prazo. Práticas como rotação de culturas, plantio direto, adubação verde, terraceamento e controle da erosão contribuem para preservar suas propriedades naturais e evitar a degradação e a perda de áreas produtivas. Enxergar o solo como o alicerce da produção agrícola implica tratá-lo de forma estratégica, promovendo segurança alimentar, viabilidade econômica e equilíbrio ambiental.

1.2 FORMAÇÃO E ORIGEM DOS SOLOS

A formação dos solos depende dos processos de degradação de minerais e rochas, devido à ação dos agentes intempéricos ao longo de anos em escala geológica, e da incorporação de material orgânico, em razão da composição florística e da atividade microbiana do solo.

Essa formação ocorre aos poucos, ao longo de muitos anos e de duas maneiras:

- **1ª: Pela quebra de minerais e rochas:** pedras e minerais vão se desgastando por causa do vento, da chuva, do sol e de outros fatores da natureza. Esse processo transforma as rochas em pequenas partículas que ajudam a formar o solo.
- **2ª: Pelo acúmulo de matéria orgânica:** plantas, folhas e animais que vivem sobre ou dentro do solo se decompõem. Os microrganismos presentes no solo ajudam a transformar esses restos em nutrientes, tornando o solo mais fértil e rico em vida.

Ou seja, o solo é formado tanto pela ação da natureza sobre as pedras quanto pela contribuição de plantas, animais e microrganismos. Dessa forma, apresenta características bastante diferentes ao longo da paisagem, variando suas propriedades químicas e físicas, tanto na retenção de nutrientes e parâmetros eletroquímicos quanto no acúmulo de água e material orgânico.

Pode-se dizer que a formação do solo é consequência da interação de cinco elementos fundamentais: material de origem, tempo, clima, organismos vivos e relevo. A combinação desses fatores resulta na variedade de classes e características presentes nos diferentes ambientes, processo conhecido como pedogênese. Essa perspectiva é essencial para entender tanto a origem e a evolução dos solos quanto para guiar práticas de uso e manejo apropriadas, levando em conta suas capacidades e restrições em diferentes contextos ambientais.

Os agentes intempéricos, ao longo do tempo, vão desempenhando papel fundamental ao provocar alterações físicas, químicas e mineralógicas em rochas e minerais. Esses processos degradam a estrutura original do material, como mostrado na Figura 3, por meio de mecanismos como fragmentação e alteração da resistência mecânica, originando estruturas de menor tamanho que futuramente irão compor as partículas do solo. Ao mesmo tempo, ocorrem mudanças químicas importantes, especialmente em relação à composição e à estrutura cristalina dos minerais, que começam a interagir com água, oxigênio e matéria orgânica do ambiente.

Figura 3 – Ação intempérica promovendo a fragmentação da rocha-mãe.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2017.

A ação dos processos físicos, químicos e biológicos sobre a rocha não ocorre de maneira uniforme, pois sua intensidade e duração variam conforme as condições do ambiente e a natureza do material. Essa atuação se manifesta por meio de diferentes mecanismos. Entre eles destacam-se os processos de transformação, que alteram a composição e a estrutura original dos minerais; os processos de remoção, que retiram partículas e substâncias do sistema; os processos de adição, que introduzem novos elementos vindos do meio externo; e os processos de translocação, caracterizados pelo deslocamento interno de materiais ao longo do perfil do solo em formação.

Esses quatro processos atuam sobre os afloramentos de rochas, principalmente os mais expostos às ações intempéricas. Tais afloramentos perfazem cerca de 3% da superfície dos continentes estudados em diferentes níveis de observação, como afloramentos superficiais, amostras de mão e afloramentos subterrâneos alcançados por meio de escavações.

Os afloramentos apresentam variações estruturais, texturais e mineralógicas que ocorrem no sentido horizontal e vertical, devendo-se realizar a classificação genética da rocha e suas características predominantes. As ações intempéricas promovem mudanças graduais na constituição e na estrutura dessas rochas, dando origem às primeiras partículas que compõem os solos.

Essas mudanças graduais não apenas desestabilizam os minerais primários, mas também favorecem a formação de minerais secundários e a incorporação de matéria orgânica, o que leva à formação dos horizontes diagnósticos no perfil do solo.

Assim, a pedogênese deve ser compreendida como um processo complexo e integrado, em que fatores como clima, organismos vivos, relevo, tempo e material de origem interagem continuamente para definir as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Com o intemperismo, uma rocha, mesmo das mais endurecidas, pode transformar-se em um material solto, o saprólito, que permite a vida de plantas e pequenos animais. Restos como folhas caídas adicionam-se e, ao se decomporem, formam o húmus. Ao mesmo tempo, alguns dos minerais das rochas, menos resistentes ao intemperismo, transformam-se em argilas (Lepsch, 2019, p. 30).

O intemperismo pode ser dividido em três principais tipos: físico, químico e biológico. Embora essa divisão seja útil para fins pedagógicos, na realidade esses processos operam de forma integrada, o que torna a separação completa de seus efeitos um desafio. Quando as rochas emergem ou se aproximam da superfície terrestre, elas começam a ser gradualmente alteradas pelos processos pedogenéticos, que transformam tanto sua estrutura quanto sua composição, resultando em materiais bastante distintos da rocha-matriz.

ATENÇÃO

Os processos físicos, químicos e biológicos que atuam na formação do solo nunca ocorrem de maneira uniforme ou constante. Sua intensidade e duração variam conforme o clima, o relevo e a composição da rocha original. Esses processos de transformação, remoção, adição e translocação trabalham juntos ao longo do tempo, modificando a estrutura e a composição dos minerais e determinando as características do solo que se forma.

A fragmentação física resulta na desintegração mecânica da rocha em partículas de diferentes tamanhos, desde grandes blocos, conhecidos como matacões, até fragmentos menores, como calhaus, grãos de areia e partículas finas semelhantes

ao silte. Esse tipo de intemperismo caracteriza-se pela atuação de processos físicos sobre o material de origem, promovendo a pulverização da rocha-mãe, sem que haja alterações químicas.

Para a realização desse processo, diversos fatores influenciam diretamente as rochas. Entre eles destacam-se as variações de temperatura, que provocam sucessivas dilatações e contrações nos minerais; a alteração de volume durante a cristalização de certos sais, que gera pressões internas capazes de fraturar a estrutura rochosa; a pressão exercida pelo crescimento das raízes das plantas superiores, que penetram nas fendas e ampliam essas aberturas; e a ação antrópica, representada por atividades como mineração, agricultura, construção civil e desmatamento, que aceleram a desagregação.

A decomposição física das rochas divide-se basicamente em duas categorias. A primeira, chamada de intemperismo físico-termal, ocorre devido às variações de temperatura que fazem os minerais se expandirem com o calor e se contraírem com o frio. Esse processo é típico das oscilações diurnas e noturnas de temperatura, que provocam sucessivas tensões nos minerais.

A segunda categoria, denominada intemperismo físico-mecânico, resulta da ação de forças naturais, como o impacto da água, o congelamento, o crescimento das raízes ou outras pressões externas que fraturam a rocha em partes menores sem alterar sua composição química, conforme ilustrado na Figura 4.

O intemperismo físico é especialmente importante em regiões de clima árido ou semiárido, onde a baixa umidade limita as reações químicas e as variações térmicas diárias são mais intensas. Nesses ambientes, a desagregação mecânica é o principal agente responsável pela formação de sedimentos.

Diferentemente do intemperismo físico, que apenas fragmenta a rocha, o intemperismo químico modifica sua natureza mineralógica, sendo um dos principais responsáveis pela formação dos solos. Ao modificar a composição mineralógica, ele desestabiliza os minerais primários, acarretando a formação de minerais secundários.

Figura 4 – Desintegração da rocha por meio do intemperismo físico-mecânico ocasionando fragmentações.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2023.

Esse tipo de intemperismo compreende a decomposição química dos minerais primários por meio de reações como dissolução de sais, hidrólise, oxidação-redução, entre outros, além da síntese de minerais secundários de diâmetros reduzidos.

O processo é essencialmente resultado da ação da água, que atua como solvente e como veículo de íons. Sua intensidade aumenta pela presença de gases atmosféricos, como oxigênio e dióxido de carbono, e por ácidos orgânicos húmicos originados da atividade biológica. O clima também exerce forte influência no intemperismo químico, que tende a ser mais intenso em regiões tropicais úmidas, onde a combinação de água abundante e temperaturas elevadas favorece as reações químicas.

Como a água é um dos principais agentes deste tipo de intemperismo, ela pode atuar tanto no processo de transporte dos agentes químicos, tais como exsudatos de raízes e prótons H^+ , como intensificar as reações químicas e biológicas que tornam o ambiente mais ácido e favorecem a decomposição das rochas.



PARA SABER MAIS

Exsudatos de raízes são substâncias liberadas pelas raízes das plantas no solo. Eles incluem açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos e outras moléculas que nutrem microrganismos, ajudam na absorção de nutrientes e influenciam a estrutura e a química do solo.

Entretanto, o principal mecanismo de ação e intemperismo químico ocorre pela dissolução dos minerais. O mecanismo de dissolução ocorre em diferentes intensidades para a composição dos minerais presentes dentro da rocha. Assim, cada mineral apresenta diferentes níveis de solubilidade em contato com água e soluções ácidas, e a dissolução seletiva determina o desgaste desigual da superfície das rochas, expondo cristais com diferentes tamanhos e geometrias. Isso resulta na variação de tamanhos e texturas dos minerais após a alteração e influencia diretamente a gênese e evolução dos solos provenientes, contribuindo para a heterogeneidade dos solos ao longo da paisagem.

Além da dissolução, a água pode provocar outros tipos de transformações nos minerais. Entre eles estão a hidratação e a desidratação, que correspondem à adição ou perda de moléculas de água, alterando o volume e a estabilidade dos minerais. Há também a hidrólise, em que a água reage com os minerais, principalmente os silicatos, formando argilas e liberando íons na solução. As reações de oxidação e redução modificam o estado químico de elementos como ferro e manganês, causando mudanças na cor e na composição das rochas. Já a carbonatação ocorre quando minerais como a calcita se dissolvem em água rica em dióxido de carbono, originando bicarbonatos solúveis.

Por outro lado, o intemperismo biológico corresponde ao conjunto de processos de alteração das rochas resultante da ação direta ou indireta de organismos vivos. Esse tipo de intemperismo atua em associação com o físico e o químico, sendo muitas vezes difícil, ou mesmo impossível, separá-los. Sua importância reside na capacidade de os seres vivos influenciarem o ambiente e acelerarem o processo de fragmentação e decomposição do substrato rochoso, facilitando a formação de solo.

Esse tipo de intemperismo intensifica as alterações nas rochas por meio da ação de seres vivos, como raízes de plantas, microrganismos e produção de ácidos orgânicos. As ações físicas de quebra de minerais e rochas são de natureza mecânica e podem ser ativadas pelo simples fracionamento de partículas, por pequenos animais. Muitos microrganismos decompõem as rochas pela extração de nutrientes e pela formação de complexos metálicos solúveis e ácidos orgânicos originados dos próprios compostos excretados.

Dentre os principais agentes do intemperismo biológico destacam-se, em primeiro lugar, os vegetais, principalmente pela ação do crescimento do sistema radicular das plantas superiores. O sistema de raízes expande-se fissuras e fraturas da rocha, onde exerce pressão mecânica, alargando essas discontinuidades. O mesmo ocorre com raízes em alvéolos em rochas sedimentares, que ao crescerem provocam a fragmentação progressiva do material, conforme Figura 5. As raízes também liberam exsudatos orgânicos e ácidos húmicos, que intensificam o intemperismo químico, promovendo a dissolução de minerais.

Figura 5 – Formação de alvéolos em rochas sedimentares pelo processo de intemperismo biológico pelo crescimento radicular associado ao intemperismo químico e eólico.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2024.

Os microrganismos, tais como bactérias, fungos e algas, exercem um papel ainda mais importante. Eles secretam ácidos orgânicos compostos quelantes, o que permite a solubilização dos minerais. Além disso, estão envolvidos no ciclo biogeoquímico de nutrientes minerais, como carbono, nitrogênio e fósforo.

O líquen, por exemplo, é uma associação simbiótica entre algas e fungos, que ao se fixar na rocha produz substâncias químicas que aceleram a degradação mineral. Ao mesmo tempo, ele funciona como uma esponja verde e retém o orvalho formado nas primeiras horas do dia, favorecendo o desenvolvimento de plantas que produzem substâncias químicas, acelerando a degradação mineral e, ao mesmo tempo, contribuem para a retenção de umidade, criando condições favoráveis à colonização por outros organismos.

**QR CODE****DESCOMPLICA**

Acesse o **QR Code** ao lado e entenda de forma simples a diferença entre os três tipos de intemperismo (físico, químico e biológico).



É importante ressaltar que todas essas mudanças na estrutura das rochas não acontecem de forma consistente. A transformação de rochas em solo abrange diversos processos, como a conversão de minerais, a remoção de elementos solúveis, a adição de novos compostos e a movimentação de materiais ao longo do perfil do solo. Essas etapas, quando analisadas em conjunto, formam a base do processo de formação dos solos, evidenciando a complexidade e a dinâmica da pedogênese.

2. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO QUANTO À ABERTURA DE PERFIS

Por serem formados pela ação contínua do intemperismo, os solos expressam propriedades físicas, químicas e morfológicas que refletem sua origem e influenciam diretamente seu potencial de uso, especialmente na agricultura e na conservação ambiental. Compreender esses atributos é essencial para planejar práticas de manejo adequadas e garantir a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

As características físicas do solo mostram como ele é formado e como se comporta. Elas incluem a quantidade de areia, silte e argila, o espaço entre as partículas e o quanto de água e ar consegue armazenar. Esses aspectos influenciam como a água entra e se espalha, como o ar circula, como as raízes crescem e se o solo pode ficar muito duro ou ser levado pela chuva.

As propriedades químicas abrangem os elementos e processos que regulam a fertilidade do solo. Entre os principais atributos estão o pH, a capacidade de troca de cátions (CTC), a saturação por bases, a matéria orgânica, a disponibilidade de nutrientes (como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e micronutrientes) e a presença de elementos tóxicos ou limitantes, como alumínio e sódio. Esses parâmetros são determinantes para o crescimento vegetal e definem a necessidade de adubação e correções.



PARA SABER MAIS

A CTC do solo, ou Capacidade de Troca de Cátions, é uma forma de medir quantos nutrientes o solo consegue reter e disponibilizar para as plantas. O solo tem partículas muito pequenas (como argila e matéria orgânica) que funcionam como “ímãs” de nutrientes, segurando elementos importantes como cálcio, magnésio e potássio. Esses nutrientes ficam presos temporariamente e podem ser trocados com as raízes das plantas, conforme elas necessitam.

Já as propriedades morfológicas correspondem às características observáveis no campo, por meio da descrição do perfil do solo. Incluem a cor, a estrutura, a consistência, os tipos de horizontes, a presença de raízes e poros, concreções, fragmentos de rocha e transições entre camadas. Essas observações permitem interpretar os processos pedogenéticos e avaliar seu potencial de uso.

Em conjunto, essas propriedades fornecem uma visão ampla sobre a qualidade, as limitações e potencialidades do uso agrícola do solo. O estudo integrado desses aspectos é essencial para o manejo conservacionista, a preservação da fertilidade e a tomada de decisões em atividades agropecuárias, ambientais e de ocupação territorial.

2.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS

Entre os diferentes aspectos que caracterizam os solos, suas propriedades físicas merecem destaque, pois estão diretamente relacionadas à sua estrutura, ao seu funcionamento e à sua capacidade de sustentar a vegetação. Essas propriedades englobam características como textura, estrutura, densidade, porosidade, consistência, cor e umidade, que influenciam processos como infiltração e retenção de água, aeração, resistência à penetração de raízes e até mesmo a atividade biológica. O entendimento das propriedades físicas do solo é essencial para práticas de manejo sustentável, conservação e melhoria da produtividade agrícola.

Um propriedade física do solo é a densidade. Trata-se de um fator físico identificado pela massa que o solo apresenta em determinado volume. A densidade do solo afeta o crescimento radicular das plantas e, como consequência, reduz a absorção dos nutrientes.

Figura 6 – Amostrador de densidade do solo.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2025.

Outra propriedade física dos solos ocorre quando apresentam densidades muito elevadas, em camadas superficiais, denominada compactação do solo. Trata-se de um efeito do uso incorreto do maquinário agrícola, ocasionada pela associação entre peso excessivo das máquinas e a alta umidade no solo durante os processos de preparo do solo, semeadura, pulverizações para controle preventivo e curativo de pragas, doenças e plantas daninhas e processos de colheita. Como consequência, a compactação do solo dificulta o crescimento das raízes, pois reduz o espaço para a passagem de ar, água e nutrientes, conforme Figuras 7. Além do manejo, a textura do solo também influencia a intensificação desse processo, principalmente quanto maior for o teor de argila no solo.

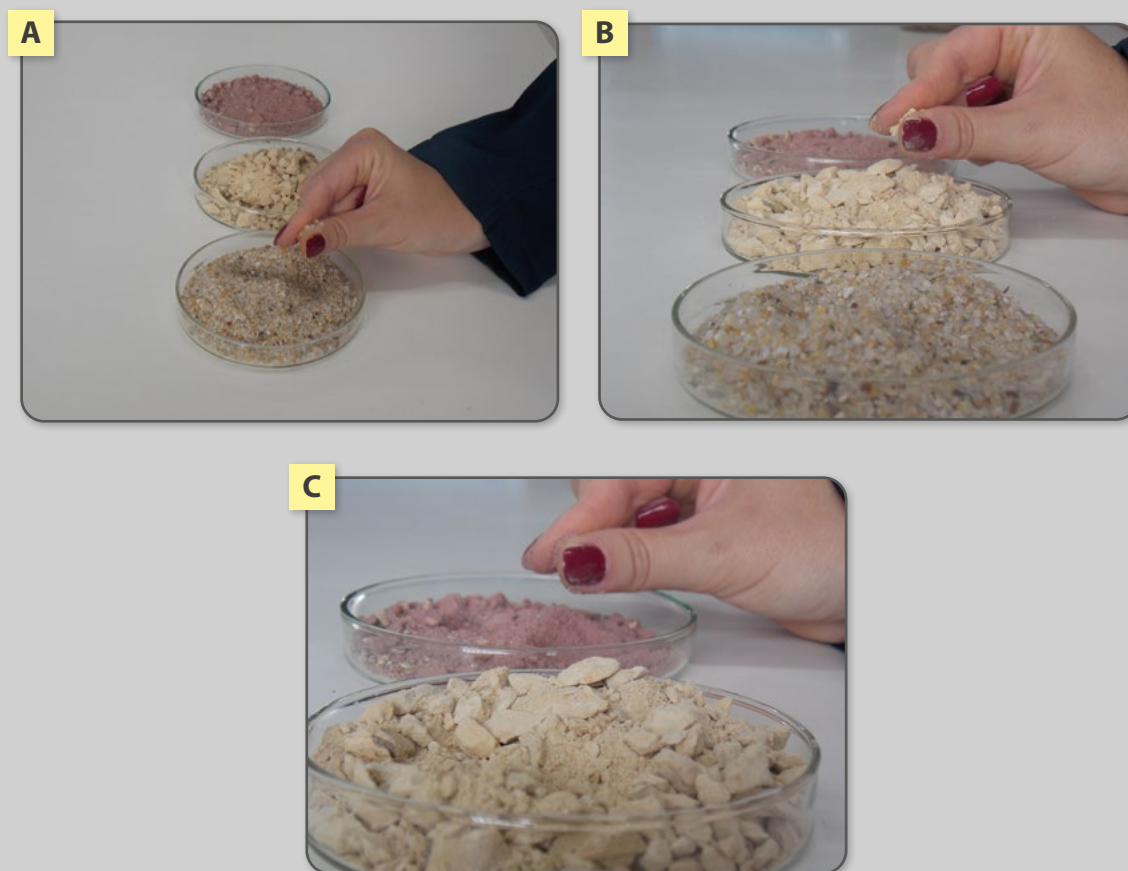
Figura 7 – Crescimento radicular lateral em virtude do solo compactado (A) e sinais no solo deixados por pneu de trator com excesso de lastragem (B).



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2021.

A textura é uma propriedade física que indica os teores das frações granulométricas de areia, silte e argila. A textura pode ser determinada em laboratório, conforme observado nas Figuras 8, ou avaliada por meio do tato com base nos seguintes parâmetros: sensação de aspereza, que indica maior concentração de areia; sedosidade, indicando maior concentração de silte; e, por fim, plasticidade e pegajosidade, indicando maior concentração de argila.

Figura 8 – Avaliação tátil da textura do solo com base na sensação de aspereza para solos arenosos (A), sedosidade para siltosos (B) e pegajosidade para argilosos (C).

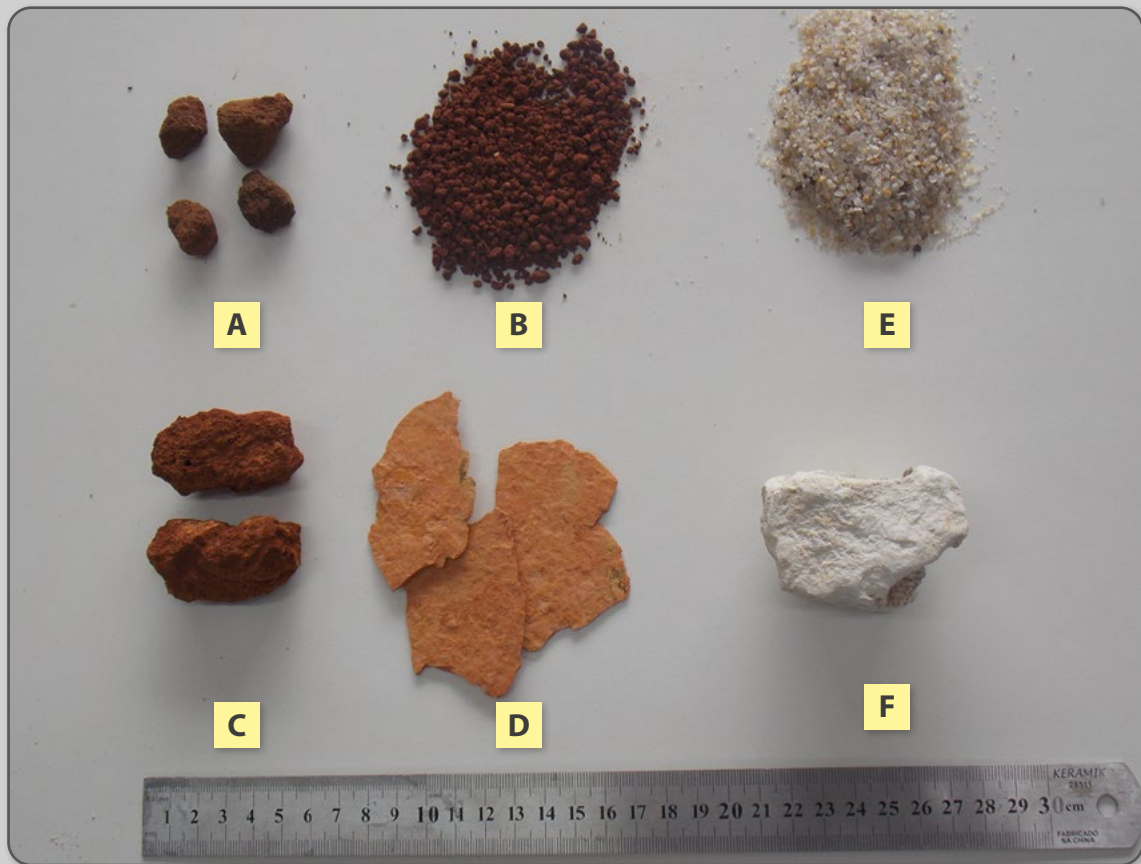


Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2021.

Outra propriedade física do solo que interfere no desenvolvimento radicular envolve os processos de gênese da estrutura dos solos.

A estrutura do solo caracteriza o estado de agregação das partículas, podendo ser: granular, em blocos, em lâminas, colunar ou prismática, conforme Figura 9. A estruturação envolve dois processos: a forma de aproximação das partículas e a estabilização dos agregados por meio do processo de cimentação.

Figura 9 – Tipos de estruturas: blocos (A), granular (B), prismática (C), laminar (D) e arranjo de partículas unitárias: grãos simples (E) e maciça (F).



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2018.

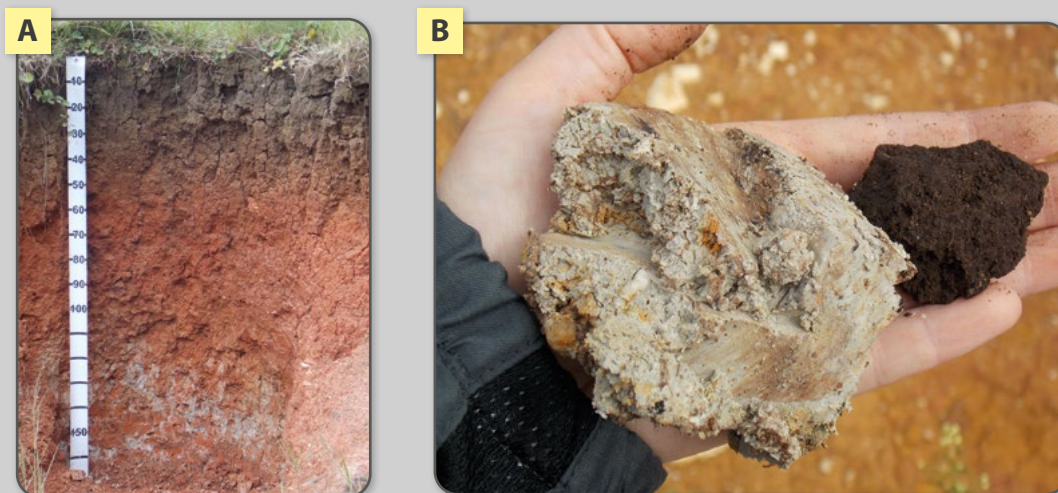
No processo de agregação ocorre a interação entre os componentes do solo. Dentre eles, destacam-se as argilas e suas propriedades como quantidade, grau de floculação e tipo de argila (2:1, 1:1 ou óxidos). Outro fator que interfere na agregação está relacionado com a bioatividade, seja pela pressão causada pelas raízes e exsudatos radiculares, seja pela presença da microbiota do solo e de alguns organismos com maior tamanho. Além disso, em todo esse processo de estabilização existe a ação da matéria orgânica que, ao longo do processo de decomposição, favorece a agregação de todos esses componentes.

As Figuras 10 mostram dois solos bem distintos quanto à agregação. A primeira (10A) representa um perfil de solo com estrutura em blocos nas camadas superficiais e estrutura granular nas camadas mais profundas. Esse tipo de estrutura facilita a percolação de água e nutrientes ao longo do perfil, porém garante que a matéria

orgânica permaneça na superfície até 40 cm; dessa forma, sua presença garante maior fertilidade ao solo.

Já a segunda (10B) representa um tipo de estrutura maciça, ou seja, sem estrutura bem definida. Nesse solo, a água permanece acumulada por um período maior de tempo e a matéria orgânica acaba percolando para camadas mais profundas, o que se evidencia pela camada mais escura perto dos 40 cm de profundidade, alterando as condições de fertilidade desse solo e inviabilizando seu uso agrícola.

Figura 10 – Solo com estruturas distintas quanto ao uso agrícola. Na figura A um perfil de solo ainda em desenvolvimento, onde no horizonte mais profundo visualiza-se os fragmentos de rochas. Na figura B observa-se amostras de horizontes distintos em relação ao conteúdo de matéria orgânica e drenagem.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2017.

Dessa forma, podemos definir que um solo com estado ideal de agregação e estrutura apresenta um número de poros que proporciona a entrada e a manutenção de ar e água no solo, drenagem eficiente, resistência aos processos erosivos e permite o crescimento radicular que explora um volume de solo para captação de água e nutrientes.

Por fim, outro parâmetro físico que interfere não somente no desenvolvimento das plantas, mas também nos procedimentos de mecanização agrícola, é a consistência do solo. Trata-se do diagnóstico referente às forças de pressão de coesão das partículas em diferentes umidades, devido à influência da água nas forças de adesão dos minerais do solo.

A consistência deve ser avaliada em três condições de umidade: amostras secas em estufa de fluxo contínuo de ar a 60 °C durante 24 horas, amostras em umidade de capacidade de campo e saturadas em água. Os diferentes teores de umidade indicam

diferentes respostas quanto à capacidade de quebra e à força que podemos exercer sobre o solo. Dessa forma, podemos classificar as diferentes amostras nas seguintes condições: amostras secas são avaliadas como soltas, macias e duras; amostras na umidade de campo são avaliadas como friáveis e firmes, conforme Figura 11; e amostras saturadas em água são avaliadas quanto à pegajosidade e à plasticidade.

Figura 11 – Determinação da friabilidade em amostra de solo úmida.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2021.

Essa característica do solo é extremamente importante para a tomada de decisões quanto ao uso do maquinário agrícola. Com a adoção do sistema plantio direto, as máquinas agrícolas precisam exercer uma força sobre o solo para serem eficientes quanto ao corte da palhada. Obviamente, essa força é obtida pelo peso desse maquinário e dos seus implementos. O diferente grau de umidade do solo irá alterar sua consistência e, por sua vez, a resposta quanto à capacidade de moldagem desse solo sob a ação do peso das máquinas.

A identificação da consistência do solo reduz a formação de camadas compactadas com a entrada do maquinário agrícola em condições de umidade correta; assim, não é necessário reduzir o peso das máquinas, não perdendo sua eficiência de corte de palhada e, evidentemente, respeitando os limites de cada solo (Figura 12). Dessa forma, o sistema de manejo do solo afeta as forças de coesão do solo, rompendo sua estrutura e interagindo diretamente com a consistência, uma vez que atua sobre sua compressibilidade, indicada pela capacidade de suporte de forças em função da umidade em capacidade de campo.

Figura 12 – Corte da palha é a principal evolução de máquinas agrícolas em sistema plantio direto, preparando o contato da semente com o solo.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2025.

2.2 PROPRIEDADES QUÍMICAS DOS SOLOS

Os fatores de natureza química podem influenciar de maneira positiva ou negativa o crescimento das plantas, sendo difícil separá-los, uma vez que em muitos casos estão intimamente relacionados e interagem entre si. Podemos destacar como principais propriedades químicas dos solos a composição mineralógica, a disponibilidade de nutrientes, a presença de elementos tóxicos, a presença de metais pesados, os teores de matéria orgânica, os processos de redução e oxidação e a salinidade (Figuras 13).

Figura 13 – Determinação do alumínio no solo (A) e do conteúdo de matéria orgânica do solo (B).



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2023.

A composição mineralógica dos solos corresponde aos minerais nele presentes, sejam primários fragmentados, sejam, principalmente, minerais secundários, caracterizados pela composição de areia, silte e argilas silicatadas.

Essa propriedade afeta diretamente a capacidade de troca de cátions e ânions, uma vez que ela é regida pelas forças de atração e repulsão dos componente minerais com características coloidais.

O estado coloidal abrange um sistema de duas fases, uma sólida (as argilas) e uma líquida (a solução do solo), em que um ou mais materiais se encontram dispersos em outra substância. São, via de regra, menores do que 0,002 mm, ou seja, são colóides do solo as argilas e o húmus.

Solos altamente intemperizados, característicos de regiões tropicais, sofrem com a incidência de precipitações e elevada percolação de água, acarretando o transporte do silício, elemento sempre presente nas argilas silicatadas. Esse processo determina a formação da constituição mineralógica do solo.

As argilas silicatadas compõem a estrutura química dos solos, são resultado do processo de intemperismo de minerais e rochas e constituem os principais componentes minerais do solo. Apresentam características distintas de acordo com o tipo de argila formada, o processo de intemperismo que a gerou e a qualidade química de seu material de origem, mas regem os processos de troca de cátions e ânions no solo, parâmetro importante para definir a fertilidade natural do solo e a capacidade de retenção dos nutrientes fertilizados.



PRECAUÇÃO

Embora o intemperismo seja essencial para a formação do solo, processos acelerados de intemperismo físico ou químico podem levar à degradação do solo, como erosão, perda de nutrientes e redução da fertilidade. É importante praticar manejo adequado, como plantio direto, cobertura vegetal e conservação da matéria orgânica, para proteger o solo e garantir sua produtividade em longo prazo.

As relações de troca entre os minerais de argila ou os óxidos e hidróxidos definem o complexo químico do solo, em conjunto com o material orgânico. A capacidade de retenção dos minerais nutrientes é proporcionalmente maior ao conteúdo de matéria orgânica do solo. Por isso, sistemas de manejo que degradam a matéria orgânica de maneira mais lenta e gradual tendem a apresentar maior CTC e fertilidade, como é o caso do sistema plantio direto, conforme Figuras 14.

Figura 14 – Uso de *mix* de adubos verdes (A) para enriquecimento da formação de palhada em sistema plantio direto (B).



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2020.

Já em sistemas que revolvem mais o solo o processo de decomposição do material orgânico é muito mais rápido, favorecendo o processo de lixiviação dos nutrientes, pois devido à infiltração da água da chuva ou à irrigação por meio do perfil do solo os nutrientes deslocam-se para as camadas mais profundas. Outro fator relevante é que, nesse tipo de sistema de manejo, a desagregação e a exposição ao sol alteram a atividade da biota do solo.

Dessa forma, a composição mineralógica, em conjunto com a matéria orgânica do solo, define a disponibilidade dos nutrientes, ou seja, todos os nutrientes que estão dissolvidos na solução do solo tornam-se prontamente disponíveis para as plantas.

O solo contém cargas elétricas que atraem os nutrientes. Essa atração pode acontecer dentro das partículas ou em suas bordas. Quando o nutriente fica preso no interior da partícula, ele está fixado e não pode ser usado pelas plantas, mesmo depois de muito tempo. Mas quando está preso nas bordas do argilomineral ou da matéria orgânica, essa ligação pode ser rompida pela ação da chuva, do vento ou das raízes das plantas. Assim, o nutriente que estava preso se dissolve na água do solo, tornando-se disponível para ser absorvido pelas plantas.

Dentre os nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, um dos que mais sofre o processo de fixação é o fósforo (P); sua eletronegatividade caracteriza essa fixação em solos, principalmente nos mais intemperizados, característicos de regiões tropicais como o Brasil, o que determina suas dificuldades quanto a correções e adubações.

Apesar disso, nem sempre todas as características químicas são favoráveis ao desenvolvimento das plantas. A presença de alguns elementos tóxicos, por exemplo, pode inibir o crescimento do sistema radicular. O alumínio (Al^{+3}), quando presente na solução do solo, afeta as células do meristema apical, cessando a divisão celular. Esse efeito sobre as células paralisa seu crescimento e induz a formação de raízes secundárias, que têm menor poder de absorção e menor área para captação de nutrientes quando comparadas às raízes primárias.

Outro elemento que quando presente em solução do solo interfere na disponibilidade dos outros é o hidrogênio (H^+), embora não seja considerado um elemento tóxico. A fração de íons H^+ no solo é muito reduzida, porém extremamente ativa; dessa forma, avaliamos o potencial desse elemento, indicado pelo pH do solo (potencial hidrogeniônico).

O pH não afeta diretamente o crescimento radicular ou qualquer outro aspecto inerente às plantas, mas seus efeitos afetam a disponibilidade de nutrientes à medida que se alteram os valores do pH. De maneira geral, podemos afirmar que a maioria dos micronutrientes está mais disponível em pH mais ácido, abaixo de 3,0 (com exceção de molibdênio, cloro e boro), enquanto os macronutrientes se tornam mais disponíveis em pH ainda ácidos, porém mais altos, entre 6,0 e 7,0. Além disso, a concentração de alumínio é alta em pH abaixo de 5,0, e a partir desse valor passa a decrescer substancialmente.

Ambos os elementos indicam fatores que interferem na acidez do solo, ora acidez ativa, determinada pelas variações do H^+ em solução e representada pelo pH do solo, ora acidez potencial, sugerida pela relação entre as frações de H^+ e Al^{+3} .

Alguns elementos presentes no solo podem prejudicar o desenvolvimento das plantas, especialmente os metais pesados, como cádmio, chumbo, níquel e até o zinco, quando aparecem em quantidades muito altas. Esses metais, em excesso, podem ser tóxicos para as plantas, afetando o crescimento das raízes, a absorção de nutrientes e até a produtividade das lavouras. Na prática, considera-se metal pesado aquele elemento com alta densidade e estrutura atômica mais complexa. Por isso, mesmo em pequenas concentrações, eles podem se acumular no solo e causar problemas de contaminação tanto para as plantas quanto para os alimentos produzidos.

**ALERTA ECOLÓGICO**

Além de prejudicar o crescimento das plantas, metais pesados acumulados no solo podem entrar na cadeia alimentar, contaminando animais e seres humanos por meio de alimentos cultivados em solos poluídos. Eles também podem alterar a microbiota do solo, reduzindo sua capacidade de ciclagem de nutrientes e afetando a resiliência do ecossistema. Por isso, é fundamental monitorar solos agrícolas e industriais e adotar práticas de remediação, como fitorremediação e controle de efluentes, para minimizar os impactos ambientais.

As principais fontes de metais pesados no solo são as contaminações com escórias industriais, resíduos urbanos, mineração, queima de combustíveis fósseis e material orgânico sem prévio preparo de curtimento, conforme Figura 15. Quando essas fontes são manejadas incorretamente no solo, a contaminação eleva os níveis de metais pesados, excedendo a capacidade de tolerância das plantas e afetando seu desenvolvimento e sua produtividade.

Figura 15 – Aplicação de dejetos sólidos orgânicos em grandes quantidades sem a devida incorporação, mantendo a palhada na superfície.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2020.

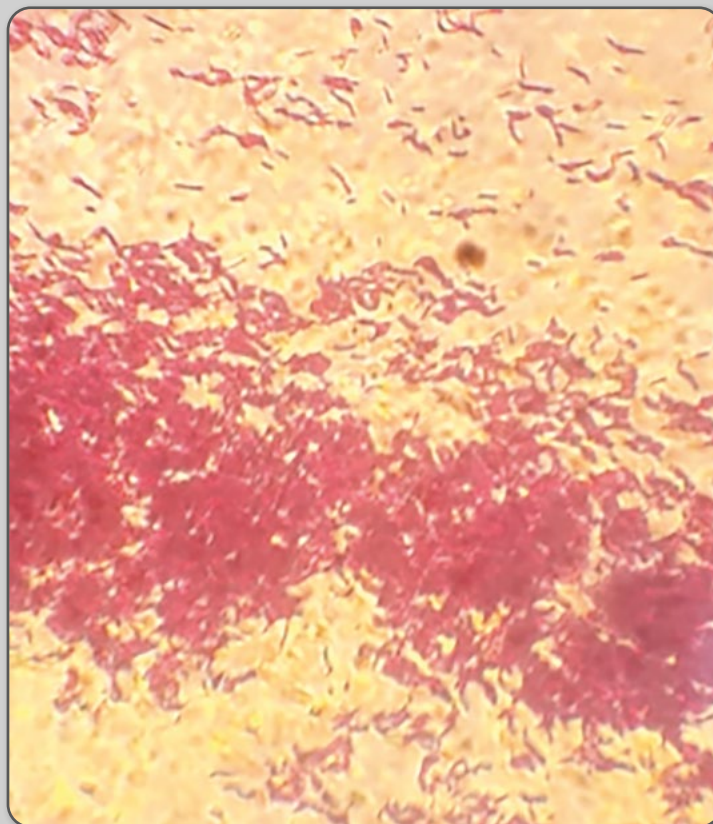
Todos os metais pesados apresentam, por característica química, contaminação da cadeia trófica, permanecendo nos indivíduos por várias gerações e ao longo da cadeia alimentar. Além disso, seu alto peso atômico os torna viáveis à percolação

quando dispersos em meio aquoso, acumulando-se nos solos e nos mananciais de água.

Para informações quanto à contaminação ambiental e humana, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) propõe a Resolução nº 420, de dezembro de 2009, que estabelece os valores de referência máximos para os possíveis contaminantes de água e solo, observados sob uma óptica agrícola, residencial e industrial. Por exemplo, elementos como cádmio, chumbo e níquel apresentam os seguintes valores de referência máximos para solos agrícolas, respectivamente: 3 mg kg^{-1} , 180 mg kg^{-1} e 70 mg kg^{-1} de solo.

Porém, dentre todas as características químicas dos solos, a presença de matéria orgânica tem grande destaque. Trata-se de todo material de origem orgânica, com presença de carbono em sua estrutura e em diferentes graus de decomposição. Toda decomposição de material orgânico estimula a atividade microbiana do solo (Figura 16), liberando os elementos constituintes desse material para a solução do solo.

Figura 16 – Microbiota de solo visualizada em microscópio óptico com aproximação de 60x, composta por bactérias gram-negativas do tipo bastonetes.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2016.

Dessa forma, existe uma correlação positiva entre todos os elementos: as raízes vegetais se beneficiam dos elementos liberados do material orgânico em decomposição e liberam exsudatos, compostos nutritivos que atraem a atividade biológica; por sua vez, a atividade biológica atua na decomposição da matéria orgânica próxima das raízes, pois é o local onde se encontra a maior concentração de nutrientes devido aos exsudatos; por fim, a solução do solo fica enriquecida por elementos químicos liberados do material orgânico decomposto. Todos os três elementos – raízes das plantas, microbiota e solução do solo – interagem entre si promovendo a manutenção do sistema.

Outro benefício notável do material orgânico do solo é a estabilização dos agregados do solo. A agregação depende muito da velocidade de decomposição do material orgânico, podendo variar conforme a constituição química dos tecidos vegetais, indicada pela relação C/N.

Quanto maior a relação entre quantidade de carbono existente, quando comparado ao nitrogênio, maior será o tempo em que esse material será decomposto. Por essa razão, as leguminosas apresentam velocidade de decomposição mais rápida, uma vez que a fixação biológica aumenta o conteúdo de nitrogênio absorvido, que será translocado para os tecidos vegetais.



PARA SABER MAIS

A relação C/N (carbono/nitrogênio) indica o equilíbrio entre a quantidade de carbono e nitrogênio presente em um material orgânico ou no solo. Esse equilíbrio é importante porque influencia a decomposição da matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Quando a relação C/N é muito alta (muito carbono e pouco nitrogênio), como em palhadas e restos de milho, os microrganismos usam o nitrogênio do solo para decompor o material, deixando menos nitrogênio disponível para as plantas. Já quando a relação C/N é baixa (mais nitrogênio), como em restos de leguminosas, a decomposição ocorre rapidamente e o nitrogênio é liberado no solo, tornando-se disponível para as plantas. Em geral, uma relação em torno de 25:1 a 30:1 é considerada ideal para uma decomposição equilibrada e boa fertilidade do solo.

Uma relação pouco explorada, mas com grande informação agrícola, principalmente por se tratar de um elemento com processos diferenciados no solo, é a relação C/P (carbono/fósforo). As relações entre esses elementos e o solo são bem particulares, apresentando baixo conteúdo em solos naturais, principalmente

pelo material de origem formador de solo que libera pequenas quantidades desse elemento. Além disso, os processos geoquímicos e biológicos transformam o fósforo oriundo dos fosfatos naturais no solo em formas estáveis, combinando com outros elementos, como cálcio, ferro ou alumínio, e formando compostos não assimiláveis pelas plantas.



PARA SABER MAIS

A relação C/P (carbono/fósforo) mostra o equilíbrio entre a quantidade de carbono e fósforo em um material orgânico ou no solo. Essa relação é importante porque o fósforo é um nutriente essencial para as plantas, e sua disponibilidade depende da velocidade de decomposição da matéria orgânica. Quando a relação C/P é alta (muito carbono e pouco fósforo), a decomposição acontece de forma mais lenta, pois os microrganismos utilizam o fósforo disponível para as próprias atividades, deixando menos fósforo acessível para as plantas. Por outro lado, quando a relação C/P é baixa (mais fósforo disponível), os microrganismos liberam esse nutriente mais rapidamente durante a decomposição, tornando o fósforo mais disponível no solo. Em geral, uma relação equilibrada favorece tanto a atividade microbiana quanto a liberação gradual de fósforo, contribuindo para a boa fertilidade do solo e o crescimento saudável das plantas.

Dessa forma, a fixação de fósforo no solo pode ser atenuada em sistemas de manejo com maior aporte de material orgânico, como a semeadura direta sobre a palha. Entretanto, apesar de o fósforo orgânico ser uma forma bastante solúvel, esse elemento encontra-se imobilizado, portanto em uma forma não assimilável para as plantas. Várias técnicas de manejo do solo, a exemplo das boas práticas, como o uso de adubos verdes e o sistema plantio direto, auxiliam na liberação do fósforo. Tais práticas contribuem para seu fornecimento, reduzindo o consumo de fertilizantes.



ATENÇÃO

Mineralização é o processo pelo qual a matéria orgânica do solo é transformada em nutrientes minerais disponíveis para as plantas. Embora essencial para a fertilidade, o excesso de matéria orgânica ou condições inadequadas de umidade e temperatura podem reduzir a eficiência desse processo, retardando a liberação de nutrientes ou provocando a perda de nitrogênio por volatilização. É importante controlar a adubação e o manejo do solo para garantir que a mineralização ocorra de forma equilibrada.

Uma das soluções práticas para a correção da deficiência de fósforo (Figura 17) é a fertilização com fontes orgânicas, que apresentam melhor fixação do fósforo

pelo solo, uma vez que são facilmente diluídas, apesar de apresentarem menor concentração dos nutrientes.

Figura 17 – Sintomas de deficiência de fósforo (A) e de nitrogênio (B) em folhas de milho.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2020.

Alguns solos apresentam condições especiais que alteram toda a composição química, como é o caso de solos que apresentam excesso de água ou de sais. No caso de solos hidromórficos, ou seja, com excesso de água (Figura 18), o processo de hidromorfia confere algumas características peculiares, como arejamento deficiente, decomposição mais lenta de matéria orgânica, menor atividade microbiana e reações de redução e oxidação de elementos, como o ferro e o manganês.

Figura 18 – Solo com presença constante de excesso de água, caracterizado pela coloração escura e pelo acúmulo de material orgânico.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2016.

Esses processos de redução e oxidação, junto ao acúmulo de matéria orgânica, conferem aos solos hidromórficos uma cor escura e acinzentada, que pode variar entre preto, azul ou verde. Esses solos também podem causar toxidez às plantas. Geralmente, eles se formam em áreas mais baixas do relevo, pois ficam encharcados por muito tempo. Por isso, não são indicados para a agricultura e devem ser mantidos como áreas de preservação permanente (APP).

Já solos que apresentam elevadas concentrações de sais também apresentam características peculiares. Sais são elementos flocculantes em solo, portanto aumentam a macroporosidade e as reações dispersivas entre as partículas do solo.

Solos localizados em regiões com baixa precipitação pluviométrica e relevos de baixada são mais suscetíveis ao acúmulo natural de sal (Figura 19), pois tais regiões propiciam seu acúmulo.

Figura 19 – Solo com excesso de sais solúveis.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2015.

Solos afetados por sais apresentam alta concentração da maioria dos elementos químicos, justamente por seu acúmulo estar relacionado aos baixos índices de precipitação e às depressões no relevo. Dessa forma, quando o acúmulo de sal está relacionado ao manejo incorreto de fertilizantes agrícolas, principalmente fornecidos por meio de sistemas de fertirrigação, a produtividade das culturas decai, onerando os produtores.

Esses casos de acúmulo de sais são muito comuns em sistemas de cultivo de hortaliças e flores em estufas com sistema de irrigação por gotejamento, mas também ocorre em sistemas agrícolas com grandes culturas, principalmente devido à posição do fertilizante em relação à colocação da semente.

2.3 ABERTURA DE TRINCHEIRAS PARA AVALIAÇÃO DO SOLO

A caracterização morfológica do solo é uma parte muito importante nos estudos sobre o solo porque mostra como ele é por dentro e ajuda a entender como se formou, como funciona e para que pode ser usado. Ela é feita por meio da observação direta do solo em trincheiras abertas, cavando até 1,0 metro de profundidade ou limpando barrancos na beira de estradas, usando a visão e o tato para identificar e descrever as camadas que o formam (Figura 20).

A descrição morfológica do solo é uma etapa essencial para classificá-lo, interpretar sua gênese e planejar seu uso sustentável. Com base nessas observações é possível avaliar a fertilidade, a suscetibilidade à erosão, o potencial agrícola, as limitações para construção e a necessidade de manejo especializado.

Figura 20 – Perfil de Espodossolo localizado no litoral paranaense.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2018.

Cuidado!

A erosão remove a camada mais fértil do solo – o horizonte A –, reduzindo drasticamente sua produtividade. O uso de cobertura vegetal é essencial para evitar esse problema.

A descrição detalhada é feita ao longo de todo o perfil pedológico, possibilitando uma caracterização mais exata da organização morfológica e estrutural interna do solo. É importante ressaltar que essas características não são permanentes: elas

podem variar significativamente, uma vez que o solo é um sistema natural dinâmico, continuamente sujeito a processos físicos, químicos e biológicos que provocam mudanças constantes, transformações que podem ocorrer ao longo do tempo, mesmo em um curto espaço.

O solo é chamado de pedon quando considerado em sua representação tridimensional. A seção vertical do pedon, que vai da superfície até o material de origem e é usada para descrição, exame e coleta, é chamada de perfil do solo. Esse perfil é formado por camadas ou seções que são aproximadamente paralelas ou, em certas situações, irregulares. Essas camadas podem ser contínuas ou descontínuas e são chamadas de horizontes.

Os horizontes do solo são camadas naturais que se distinguem ao longo do perfil devido aos processos pedogenéticos, exibindo variações morfológicas, físicas e químicas que indicam a dinâmica de sua formação e seu desenvolvimento. Segundo a classificação pedológica, esses horizontes são representados por letras que denotam sua posição e natureza no perfil. Sua classificação define a divisão entre os horizontes O e A, classificados como horizontes superficiais, enquanto os horizontes E, B, C, F (Figura 21) e R estão entre os horizontes subsuperficiais.

Também é possível incluir horizontes de transição, que são aqueles com características intermediárias, definidas pelas propriedades dos dois horizontes situados acima e abaixo dele. Nesse caso, as letras maiúsculas de ambos os horizontes são atribuídas, e o símbolo do horizonte dominante é colocado à frente. Esses horizontes podem ser definidos conforme o Quadro 1.

Figura 21 – Abertura, limpeza e preparo da trincheira para avaliação do perfil do solo.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2018.

Quadro 1 – Horizontes dos solos e sua descrição.

Horizonte	Descrição
Horizonte O ou H	Horizonte rico em compostos orgânicos, formado acima do solo mineral, constituído de plantas mortas e resíduos de origem animal em diferentes graus de decomposição.
Horizonte A	Horizonte mineral superficial, com matéria orgânica parcialmente decomposta misturada a compostos minerais, apresentando coloração mais escura.
Horizonte E	Horizonte mineral originado por intensa lixiviação ou eluviação de argilas, óxidos de ferro e alumínio, resultando em concentração de areia e silte e coloração clara.
Horizonte B	Horizonte mineral alterado, sem preservação da estrutura original do material de origem. Na maioria dos solos, é o horizonte diagnóstico para classificação.
Horizonte F	Horizonte mineral associado à flutuação do lençol freático, formando uma camada endurecida pela segregação de ferro, denominada petroplintita ou laterita.
Horizonte C	Horizonte mineral inconsolidado, formado por fragmentos da rocha-mãe com baixo grau de intemperismo, situado abaixo da zona de atividade biológica.
Horizonte R	Camada de rocha consolidada, com pouca ou nenhuma evidência de intemperismo.

Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2025.

Por serem corpos naturais tridimensionais que variam rapidamente no espaço, os solos não podem ser analisados em sua totalidade. Assim, suas propriedades são estudadas com base em perfis representativos, que são descritos em detalhes e complementados por análises laboratoriais químicas, físicas e, quando necessário, mineralógicas e biológicas. Esse método ajuda a reduzir a variabilidade observada em campo e permite elaborar modelos mais confiáveis sobre a origem, o funcionamento e o potencial de uso do solo.

A abertura de uma trincheira é essencial nos estudos pedológicos porque permite observar diretamente o perfil do solo, da superfície até o material de origem. Essa prática possibilita identificar e caracterizar os horizontes e camadas, analisando atributos como cor, textura, estrutura, consistência, raízes, concreções e outras características pedogenéticas. Por meio dessa exposição é possível descrever a organização vertical do solo, avaliar variações horizontais e coletar amostras para análises físicas, químicas e mineralógicas em laboratório. Dessa forma, a trincheira fornece informações fundamentais para compreender a gênese, a evolução e o uso sustentável dos solos.

2.4 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DOS SOLOS

As características morfológicas do solo podem ser observadas principalmente por meio dos sentidos da visão e do tato, permitindo ao pesquisador avaliar aspectos como

cor, textura, estrutura e consistência. Essas características devem ser reconhecidas e registradas em cada horizonte que compõe o perfil do solo, uma vez que fornecem informações fundamentais sobre sua origem, evolução e funcionamento.

Curiosidade

O solo é o segundo maior reservatório de carbono do planeta, ficando atrás apenas dos oceanos. O carbono presente na matéria orgânica do solo desempenha papel crucial no ciclo do carbono, ajudando a regular o clima e a manter a fertilidade do solo.

Depois de individualizar os horizontes, mede-se sua espessura, começando pelo topo do primeiro horizonte mineral. Em geral, adota-se uma profundidade de 2,0 m como limite mínimo para a observação das características do pedon. Esse limite é utilizado como referência para fins taxonômicos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). No entanto, em algumas classes de solos, a seção de observação pode ser ampliada para 4,0 m, dependendo das condições do perfil.

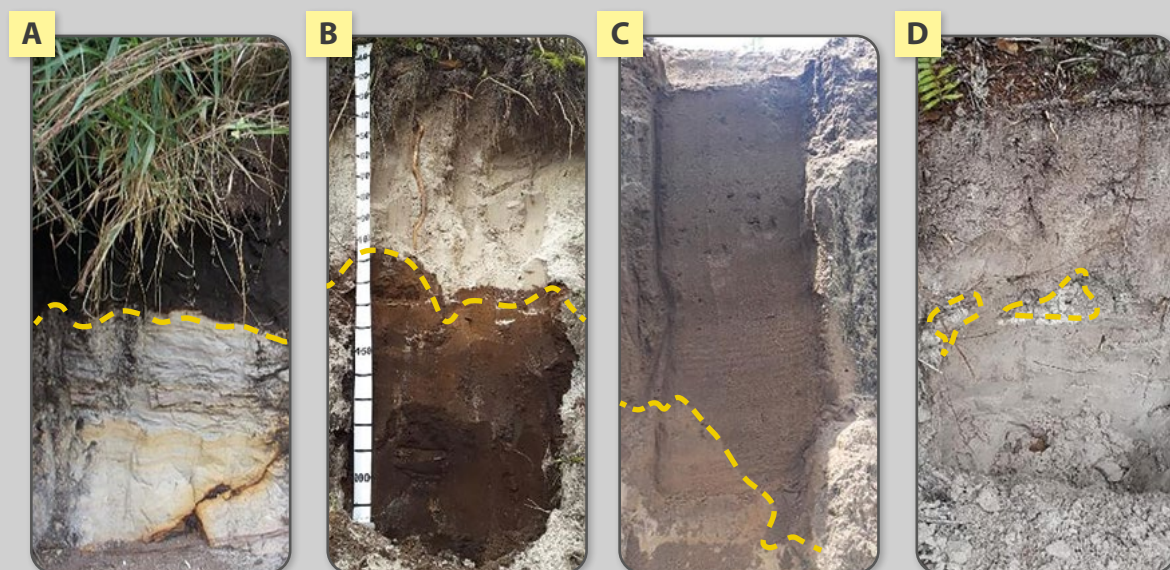
O primeiro aspecto analisado é a transição entre os horizontes, cuja espessura é avaliada desde o topo do primeiro horizonte mineral. Essa transição pode variar em termos de nitidez (sendo abrupta, clara, gradual ou difusa), conforme Figuras 22, e de topografia (sendo plana, ondulada, irregular ou quebrada), conforme Figuras 23.

Figura 22 – Tipos de transição de horizontes quanto à nitidez: abrupta (A), clara (B), gradual (C) e difusa (D).



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2016.

Figura 23 – Tipos de transição de horizontes quanto à topografia: plana (A), ondulada (B), irregular (C) e quebrada (D).



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2018.

A seguir, descrevem-se as raízes e os poros (Figura 24), cujas quantidade e distribuição são avaliadas com base na densidade por unidade de área, sendo classificadas como escassas, normais ou abundantes. Além de indicarem a atividade biológica, esses elementos ajudam a avaliar a porosidade, a dinâmica de aeração e a infiltração da água no perfil.

Figura 24 – Agregado com porosidade pouca e média.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2025.

A cor é outro atributo essencial, sendo identificada por meio da Carta de Munsell (Figura 25), que oferece um sistema padronizado de matiz, valor e croma.

Figura 25 – Identificação da cor do solo por meio da Carta de Munsell.



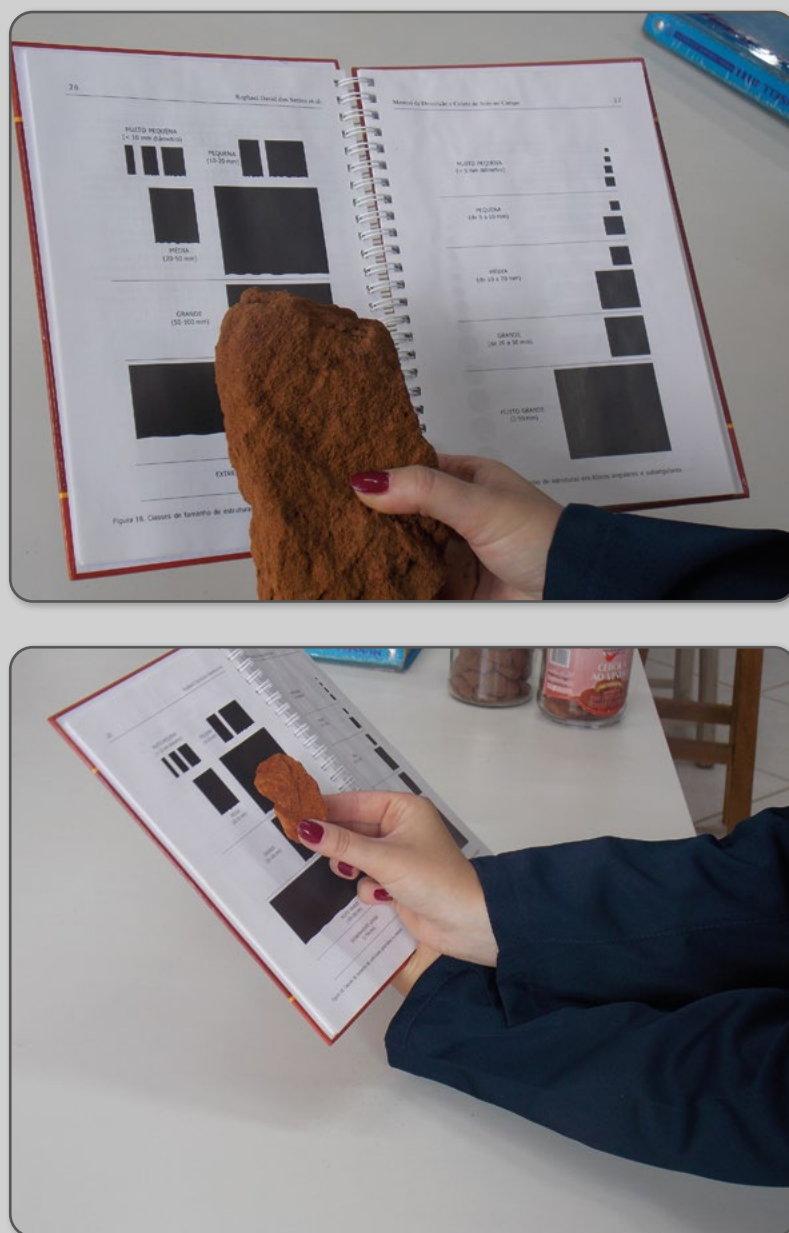
Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2018.

As cores podem ser simples ou compostas. Estas são representadas por mosqueados, como os de redução, comuns em horizontes gleizados, ou aqueles em tons vermelhos e amarelos, típicos da plintita, que indicam variações de hidratação e ressecamento.

A textura, por outro lado, diz respeito às proporções relativas de areia, silte e argila, as quais são determinadas por meio de avaliação tátil e do uso do triângulo textural. Esse atributo afeta a drenagem, a capacidade de retenção de água, a disponibilidade de nutrientes e as relações genéticas entre os horizontes, especialmente entre os horizontes A e B.

A configuração do solo, determinada pela disposição das partículas em agregados, também é meticulosamente descrita. Ela pode se manifestar em diversas formas (blocos, granulação, prismática, laminar, grãos simples ou maciça) e apresentar variações em tamanho (desde muito pequeno até muito grande) (Figura 26) e em grau de desenvolvimento (fraco, moderado ou forte).

Figura 26 – Classificação da estrutura em relação a classe (tamanho).



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2018.

Associada à estrutura está a consistência, atributo que expressa o comportamento do solo em diferentes condições de umidade. Quando seco, avalia-se a dureza ou tenacidade; quando úmido, a friabilidade; e quando molhado, a plasticidade e a pegajosidade, fatores que têm implicações diretas no manejo agrícola e na suscetibilidade à compactação.

Além dessas características principais, podem ser descritos outros aspectos morfológicos ocasionais, como a cerosidade, que se refere ao aspecto ceroso na superfície dos agregados. A cerosidade pode ser avaliada em relação ao seu grau de desenvolvimento (fraco, moderado ou forte) e à sua quantidade (pouca, comum ou abundante). Embora nem sempre estejam presentes, esses elementos adicionais ajudam a criar um retrato mais abrangente do perfil do solo.



PARA SABER MAIS

Solos bem estruturados funcionam como verdadeiras esponjas naturais, capazes de armazenar até 20 mil litros de água por metro cúbico. Essa capacidade é essencial para manter a umidade necessária ao crescimento das plantas, reduzir perdas por escoamento superficial e contribuir para a sustentabilidade agrícola.

Desse modo, a descrição morfológica do solo, feita por meio da abertura e análise de trincheiras, é um procedimento integrado e sistemático que inclui a identificação e interpretação de atributos como transição entre horizontes, raízes e poros, cor, textura, estrutura, consistência e características eventuais. Essa metodologia oferece suporte essencial tanto para a coleta e classificação de solos quanto para a compreensão dos processos de formação do solo e sua relação com o meio ambiente.

3. PRINCIPAIS CLASSES DE SOLO DO PARANÁ

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), atualmente são reconhecidas treze ordens taxonômicas, as quais refletem a variedade de solos no país. No entanto, algumas dessas ordens têm ocorrência limitada, pois estão relacionadas a condições ambientais ou geológicas bastante específicas.

No estado do Paraná, os estudos de mapeamento pedológico indicam a predominância de cinco ordens de solo, que também figuram entre as mais representativas em escala nacional: os latossolos, caracterizados por elevado grau de intemperismo e ampla ocorrência nos trópicos úmidos; os argissolos, marcados pela diferenciação textural entre horizontes e ampla distribuição em diversas regiões; os neossolos, que representam solos jovens e pouco desenvolvidos, comuns em áreas de relevo acidentado ou de deposição recente; os plintossolos, associados a condições de hidromorfismo e à presença de plintita, expressando alternância de saturação hídrica; e os cambissolos, solos de desenvolvimento intermediário que ocupam expressivas áreas do território. Essas cinco ordens, além de predominarem na paisagem brasileira, têm grande importância agrônômica, ambiental e socioeconômica, justificando a atenção especial conferida a elas.

O mapeamento realizado em território paranaense evidencia que essas classes não apenas traduzem a diversidade ambiental do estado como também refletem o padrão de distribuição observado em grande parte do Brasil. Tal identificação é fundamental para o planejamento agrícola, a conservação ambiental e a compreensão das potencialidades e limitações de cada unidade pedológica.

3.1 LATOSSOLOS

Constituem a ordem de solos mais expressiva do estado do Paraná, tanto em extensão territorial quanto em importância agrícola. São solos altamente intemperizados, desenvolvidos sob condições de clima tropical úmido e relevo suave ondulado a plano, características que favorecem seu uso agrícola intensivo (Figura 27).

No Paraná, os latossolos ocupam aproximadamente 40% a 50% da área total do estado, predominando nas regiões Centro-Oeste, Noroeste, Norte e parte dos Campos Gerais.

Figura 27 – Perfil de latossolo bruno-amarelo distrófico típico.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2024.

Apresentam profundidade elevada, geralmente superior a dois metros, e boa drenagem, o que os torna resistentes à erosão. Têm estrutura granular muito estável, textura predominantemente argilosa a muito argilosa e coloração vermelha ou vermelho-amarelada, em função do teor de óxidos de ferro. São solos pobres em nutrientes, com baixa fertilidade natural, devido à intensa lixiviação e à predominância de argilas de baixa atividade. Apesar disso, apresentam ótima permeabilidade e porosidade, o que favorece o desenvolvimento radicular das plantas.

A identificação do horizonte subsuperficial B latossólico, que pode se manifestar sob diversos tipos de horizontes superficiais, é a base para o diagnóstico taxonômico dos latossolos. Esse horizonte tem características morfológicas específicas e constitui o principal critério para a identificação dessa ordem no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).

O Quadro 2 resume os níveis de classificação dos latossolos no SiBCS, enfatizando seus critérios e principais exemplos.

Quadro 2 – Níveis categóricos de classificação dos latossolos no SiBCS, com respectivos critérios de distinção e exemplos representativos.

Nível categórico	Critério de classificação	Exemplos
Subordens	Definidos pela cor do solo.	Latossolos brunos, latossolos amarelos, latossolos vermelhos, latossolos vermelho-amarelos.
Grandes grupos	Baseados em atributos diagnósticos de natureza química.	Aluminoférricos, alumínicos, acriférricos, distróficos, eutróficos, distrocoesos.
Subgrupos	Consideram atributos morfológicos e funcionais específicos.	Rúbricos, espesso-húmicos, húmicos, antrópicos, petroplínticos, plintossólicos, argissólicos, retráticos, típicos.

Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2025.

Os latossolos são amplamente utilizados na agricultura mecanizada, especialmente para o cultivo de soja, milho, trigo, feijão e café, além de pastagens e reflorestamentos. Seu manejo adequado exige correção da acidez (com calagem) e adubação equilibrada, principalmente com fósforo, potássio e micronutrientes. O uso do plantio direto é altamente recomendado, pois ajuda a conservar a umidade e a matéria orgânica, reduzindo a erosão e a compactação superficial.

Apesar de serem solos fisicamente estáveis, os latossolos exigem cuidados específicos para garantir sua sustentabilidade e produtividade em longo prazo. É fundamental evitar o revolvimento excessivo do solo, para não degradar sua estrutura granular e acelerar a perda de matéria orgânica. A manutenção de cobertura vegetal permanente é indispensável, pois protege o solo contra o impacto direto das chuvas, reduz a erosão e contribui para o aumento da matéria orgânica. Além disso, a rotação de culturas deve ser constantemente adotada, favorecendo o equilíbrio nutricional e a melhoria da atividade biológica do solo.

3.2 ARGISSOLOS

A ordem dos argissolos é a segunda maior em termos de extensão no Brasil e constitui um dos principais grupos de solos do Paraná, apresentando ampla distribuição geográfica e grande importância para a agricultura e o uso sustentável das terras.

No estado do Paraná, os argissolos ocorrem amplamente nas regiões Centro-Sul, Sudeste e parte do Leste, associados a relevos ondulados e suaves. São comuns nos Campos Gerais e em partes da Serra do Mar, onde as condições climáticas e o relevo favorecem seu desenvolvimento.

São reconhecidos pela textura arenosa ou média na camada superficial e pela acumulação de argila no subsolo, conferindo-lhes um perfil com gradiente textural acentuado. Essa característica influencia a infiltração e o movimento da água, podendo causar restrição ao desenvolvimento radicular em determinadas condições.

São solos moderadamente profundos a profundos, com drenagem variável, de boa a imperfeita, dependendo do material de origem e do relevo. A fertilidade natural é geralmente baixa a média, com acidez elevada e teores reduzidos de bases trocáveis, exigindo práticas de correção e adubação para uso agrícola intensivo. A coloração varia entre tons amarelados, avermelhados e acinzentados, conforme o teor de óxidos de ferro e o grau de drenagem.

Esses solos resultam de um processo de intemperismo e lixiviação moderada a intensa, que promove o acúmulo de argila nas camadas subsuperficiais, formando um horizonte característico denominado Bt (horizonte textural) (Figura 28).

Figura 28 – Perfil de argissolo bruno-acinzentado distrófico abrupto.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2018.

A identificação do horizonte B textural, caracterizado pelo aumento considerável do teor de argila em comparação com os horizontes superiores, é o que permite o reconhecimento taxonômico dessa ordem.

O horizonte B textural é reconhecido com base em quatro critérios diagnósticos definidos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, sendo que a presença de apenas um deles é suficiente para sua classificação, conforme Quadro 3. Esse aspecto é o elemento fundamental para a distinção dos argissolos e sua diferenciação em relação a outras ordens.

São solos com bom potencial agrícola quando bem manejados, porém exigem maior atenção em relação à erosão e à conservação da estrutura. São utilizados para o cultivo de milho, soja, feijão, trigo, café e pastagens, além de florestas plantadas e sistemas agroflorestais. Para garantir boa produtividade, é fundamental realizar a correção da acidez (calagem) e a adubação de manutenção. O plantio direto e o terraceamento são práticas altamente recomendadas, pois reduzem o escoamento superficial e a perda de solo, além de melhorar a infiltração de água e o armazenamento de umidade.

Quadro 3 – Critérios e descrição para identificação do horizonte B textural.

Critério	Descrição
Presença de horizonte E	O horizonte E pode ser visto como um indicativo de B textural, a menos que tenha sido previamente classificado como B espódico, B plântico ou B plânico. Nesses casos, as ordens espodossolos, plintossolos e planossolos predominam na classificação.
Mudança textural abrupta	É caracterizada pelo aumento abrupto do teor de argila do horizonte B em comparação com os horizontes A ou E. Se a argila em A ou E for menor que 200 g kg^{-1} , o B deve ter o dobro desse valor. Caso a argila em A ou E seja superior a 200 g kg^{-1} , o B deve indicar o valor de argila em A ou E aumentado em 200 g kg^{-1} . O cálculo deve ser realizado comparando-se o ponto mais alto do horizonte B com o horizonte que está logo acima dele. Exemplo: se A contém 150 g kg^{-1} de argila, o B deve ter pelo menos 300 g kg^{-1} para atender ao critério.
Incremento de argila pela relação B/A	Quando a mudança textural não é abrupta, a relação B/A pode validar o diagnóstico. A relação é determinada ao se dividir o teor médio de argila em B pelo teor médio de argila em A. Os limites variam: acima de 1,5 para solos argilosos com $A > 400 \text{ g kg}^{-1}$; acima de 1,7 para A entre 150 e 400 g kg^{-1} ; e acima de 1,8 para $A < 150 \text{ g kg}^{-1}$. As médias devem ser calculadas levando em conta todos os horizontes A e B dentro dos limites de espessura definidos.
Presença de cerosidade	A cerosidade é considerada diagnóstica quando atinge, pelo menos, um grau moderado em solos de textura média que têm estrutura em grãos simples, prismática ou blocos de moderada a forte. Em solos argilosos ou altamente argilosos, o critério é cumprido quando a cerosidade é, no mínimo, comum e fraca ou varia de pouco a moderado. A cerosidade é avaliada com base em sua quantidade (pouca, comum ou abundante) e intensidade (fraca, moderada ou forte).

Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2025.

Requerem cuidados especiais, principalmente devido à sua suscetibilidade à erosão e à compactação superficial. É essencial manter a cobertura vegetal permanente, seja com palhada, seja com culturas de cobertura, para protegê-los contra o impacto das chuvas e diminuir o escoamento superficial. A rotação de culturas contribui para melhorar a estrutura e a fertilidade, além de favorecer a atividade biológica. O uso do plantio direto, aliado a práticas conservacionistas, como curvas de nível e terraceamento, é uma estratégia eficaz para preservar a estrutura e a produtividade desses solos.

O horizonte subsuperficial é classificado como B textural quando se verifica pelo menos uma das características diagnósticas, como presença de horizonte E, ocorrência de mudança textural abrupta, relação B/A que atende às condições estabelecidas ou presença de cerosidade em conformidade com a estrutura e textura do solo.

Os argissolos, assim como os latossolos, são subdivididos em várias categorias no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Quadro 4).

Quadro 4 – Níveis categóricos de classificação dos argissolos no SiBCS, com respectivos critérios de distinção e exemplos representativos.

Nível categórico	Critério de classificação	Exemplos
Subordens	Definidas pela cor do solo.	Argissolos bruno-acinzentados, argissolos acinzentados, argissolos amarelos, argissolos vermelhos, argissolos vermelho-amarelos.
Grandes grupos	Baseados em atributos químicos.	Ta, alumínicos, distrocoesos, eutróficos.
Subgrupos	Consideram forma de identificação do horizonte B textural, características do horizonte superficial ou atributos especiais.	Abrúpticos, arênicos, espesso-húmicos, húmicos, fragipânicos, plintossólicos, latossólicos, típicos.

Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2025.

3.3 NEOSSOLOS

Representam a terceira maior ordem em extensão territorial no Brasil. Esses solos têm baixo grau de evolução pedogenética e podem ter perfis rasos, com afloramentos de rocha frequentes, ou, quando mais profundos, alto teor de areia na composição. Suas características estão fortemente relacionadas ao material de origem, devido à atuação inicial dos processos de intemperismo e formação de horizontes diagnósticos.

Por conta da presença de afloramentos rochosos e de sua associação com relevos inclinados, esses solos apresentam desafios para a agricultura, com restrições consideráveis à mecanização e ao uso intensivo. Podem ter origem mineral ou, em

certas situações, orgânica, desde que a camada de matéria orgânica não ultrapasse 20 cm de espessura.

Figura 29 – Perfil de neossolo quartzarênico órtico típico.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2018.

A ordem dos neossolos é identificada pela falta de um horizonte subsuperficial característico. Isso implica que, apesar da possibilidade de ocorrência de horizontes como B, C, E ou F, estes não têm características que os classifiquem nas categorias estabelecidas de horizontes diagnósticos, como B incipiente, C glei, E álbico, entre outros (Quadro 5). Assim, a identificação dos neossolos está relacionada à ausência de horizonte subsuperficial com uma expressão morfológica que caracterize processos pedogenéticos mais complexos.

Quadro 5 – Níveis categóricos de classificação dos neossolos no SiBCS, com respectivos critérios de distinção e exemplos representativos.

Nível categórico	Critério de classificação	Exemplos
Subordens	Definidas pela profundidade do contato lítico, origem do material ou textura.	Litólicos (contato lítico ou fragmentário até 50 cm); flúvicos (sedimentos aluviais); regolíticos (contato lítico ou fragmentário acima de 50 cm); quartzarenicos (textura arenosa ou areia franca até 150 cm).
Grandes grupos	Relacionados ao horizonte superficial ou a atributos químicos.	Hísticos, chernossólicos, húmicos, distróficos, eutróficos, carbonáticos.
Subgrupos	Consideram atributos extraordinários e posição do material de origem	Espodossólicos, gleissólicos, vertissólicos, lépticos, lépticofragmentários.

Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2025.

3.4 PLINTOSSOLOS

Representam a quarta maior ordem em extensão territorial no Brasil, apesar de sua presença estar limitada a regiões específicas, principalmente no norte do Tocantins, sul do Mato Grosso, parte central do Amazonas e em uma ampla faixa do Maranhão.

Figura 30 – Perfil de plintossolo háplico distrófico típico.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2021.

A presença de horizontes subsuperficiais plínticos, litoplínticos ou concrecionários, caracterizados pela presença de plintita e petroplintita, é o que define esses solos.

A plintita é uma formação composta por argila com baixo teor de carbono, porém enriquecida com ferro ou com ferro e alumínio. Essa formação se desenvolve em ambientes expostos a variações de umidade e a processos recorrentes de umedecimento e secagem, condições que favorecem a segregação do ferro.

Nesse cenário, a plintita apresenta uma consistência relativamente macia, podendo ser cortada com ferramentas simples. Por outro lado, a petroplintita é resultado do endurecimento irreversível desse material, formando camadas extremamente duras e resistentes.

4. AMOSTRAGEM DE SOLO

A recomendação adequada de fertilizantes e corretivos agrícolas exige desde uma boa técnica de aplicação até a utilização de melhores fontes de nutrientes. Existem diversas técnicas que os produtores rurais adequam para uma recomendação de insumos agrícolas, mas sem dúvida a melhor delas é o diagnóstico do solo por meio de análise de solo.

Uma análise de solo relaciona os parâmetros do solo, mas por trás dessa análise laboratorial muitos outros fatores estão envolvidos e devem ser relacionados, como histórico de utilização da área; tipo de solo e condições climáticas do local; padrão tecnológico adotado pelo produtor; cultura a ser implantada, diferenciando-a entre as culturas anuais, frutícolas, olerícolas, florestais, pastagens ou até mesmo sistemas que integram várias explorações agrícolas, como de integração lavoura-pecuária-floresta.

Para que uma amostragem de solo tenha resultados confiáveis é necessário que seja realizada de maneira correta, representativa e com processos rigorosos, independentemente de a quantidade de solo coletada ser muito pequena quando comparada à quantidade de solo existente, ainda mais quando consideramos a profundidade efetiva do solo.

Os critérios a serem avaliados para a realização de uma amostragem de solo são as características da cultura que será implantada, a topografia (declividade), o sentido do escoamento da água e o tipo de solo, observando-se a taxa de infiltração de água, a formação de camadas compactadas, a profundidade e os espaços porosos indicados pela classe textural.

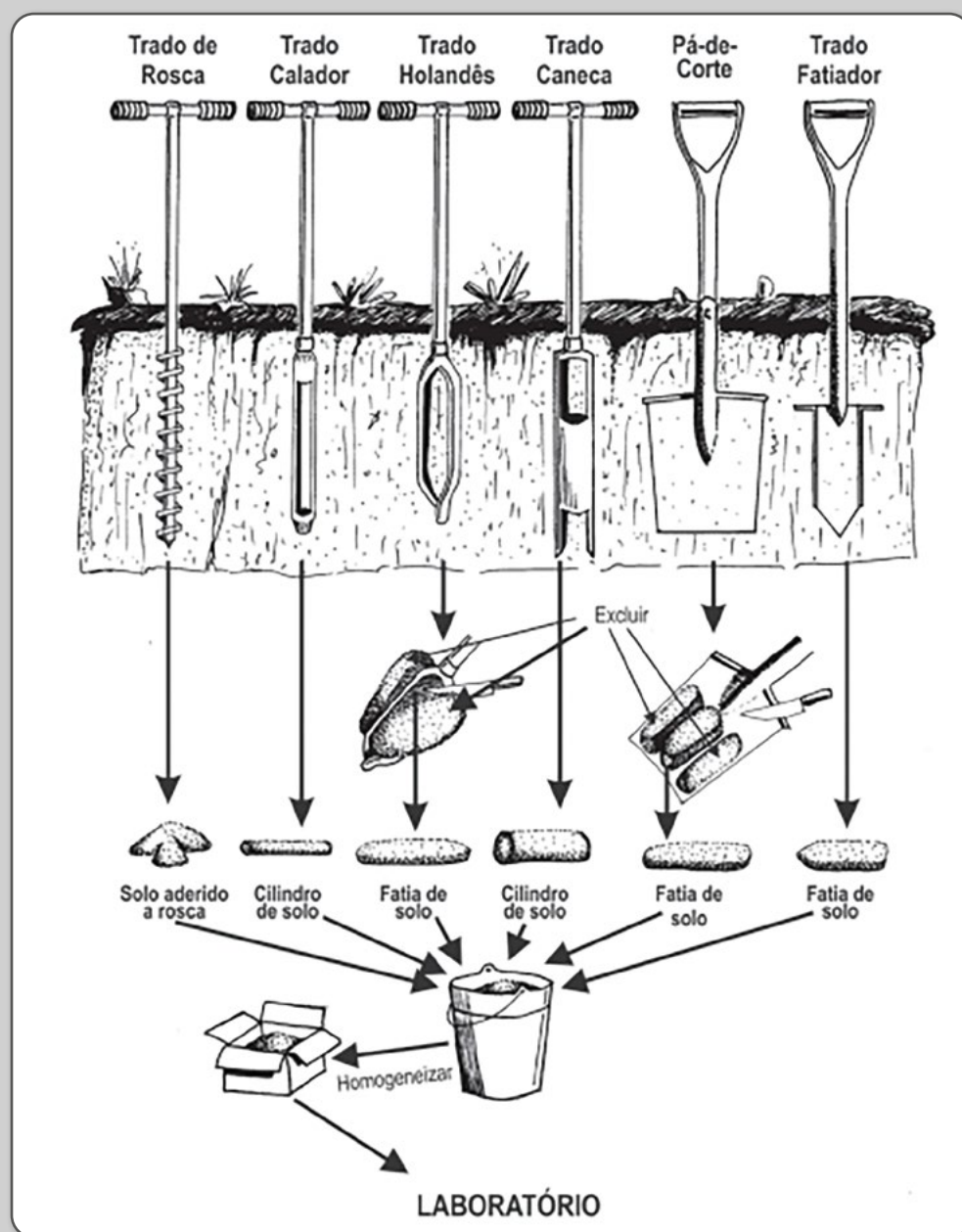
4.1 PROCESSO DE AMOSTRAGEM

Consiste na retirada de amostra de solo em profundidades conhecidas, principalmente onde o sistema radicular atua com maior captação de nutrientes. De maneira geral, podemos relacionar que a profundidade efetiva do sistema radicular se assemelha ao tamanho da parte aérea. Entretanto, essa correlação é mais notável quando comparamos o volume ocupado, uma vez que alguns fatores podem interferir no desenvolvimento em profundidade.

Para que seja realizada uma análise química, são necessários 10 g de solo. Isso significa que 10 g devem representar a quantidade de solo existente em grandes áreas. Se a avaliação representa uma área de 2 ha na camada de 0 a 0,20 m, considerando-se a densidade desse solo em 1 g cm^{-3} , a amostra corresponde a 1 bilionésimo da área amostrada. Por essa razão, a amostragem de solos deve ser realizada de maneira minuciosa para melhor representar a área total.

Alguns equipamentos auxiliam nas amostragens de solo, principalmente quando a coleta é realizada em profundidades elevadas, conforme observamos o trado holandês representado na Figura 31. Além deste, outros equipamentos são utilizados para amostragem de solo, como trado calador, trado de rosca, cortadeira e pá reta, enxada e baldes.

Figura 31 – Equipamentos utilizados para amostragem de solo.



Fonte – SBCS – Núcleo Regional Sul, 2016.

4.2 FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM

A frequência de análise de solo varia em intervalos entre um a quatro anos, dependendo do número de aplicações de corretivos agrícolas ou das sucessões de culturas que serão implantadas na área. A frequência de amostragem de solo deve ser muito maior em culturas anuais e olerícolas quando comparada à realizada em culturas frutícolas e florestais.

A amostragem deve ser realizada em um intervalo entre 3 a 8 meses antes do plantio. Esse período deve ser respeitado principalmente quando são realizadas práticas corretivas de acidez com a aplicação de calagem e gessagem.

Outro procedimento importante é não realizar coletas em um período logo após a aplicação de adubações, em um intervalo mínimo de 8 semanas quando a fonte fertilizadora for orgânica ou entre 4 e 6 semanas quando a fonte fertilizadora for mineral.

A Figura 32 mostra a importância de aguardar o tempo de decomposição e incorporação do material orgânico, uma vez que, mesmo após a incorporação por meio do implemento subsolador e do encanteirador, é possível verificar a presença do dejetos sólido em superfície.

Figura 32 – Evidências da baixa decomposição do material orgânico, mesmo após a incorporação por meio do implemento subsolador e do encanteirador.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2024.

4.3 PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM

Está relacionada com a diversidade de sistemas de manejo e cultivo, em relação à cultura a ser implantada. De maneira geral, para culturas anuais recomenda-se a coleta de amostras desde a camada superficial até atingir 0,20 m de profundidade; para culturas perenes recomenda-se amostrar até atingir uma profundidade de 0,60 m, porém estratificando as amostras a cada 0,20 m; e para pastagens recomenda-se a coleta de solos até 0,10 m quando conservadas e 0,20 m quando degradadas.

Existem solos que exigem uma profundidade de amostragem diferente. É o caso de solos enxarcados ou muito rasos, com o afloramento de rochas, conforme a Figura 33.

Figura 33 – Em caso de solos mais rasos, onde a rocha se encontra antes de 1 m de profundidade, as amostras são coletadas em menor profundidade.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2018.

4.4 ÁREA DE AMOSTRAGEM

Para a separação das glebas a serem amostradas, deve-se elaborar um croqui da área, indicando a posição das glebas, as características que separam essas áreas e considerando o tipo de solo e a cobertura vegetal existente. Quando possível, deve-se incluir informações como presença de processos erosivos, compactação ou má drenagem, curvas de nível e presença de terraços.

Cuidado!

Evite o tráfego de máquinas agrícolas em solos úmidos, pois isso provoca sua compactação, reduz a aeração e a infiltração de água e pode levar à queda significativa da produtividade.

A variabilidade espacial confere a heterogeneidade das características químicas nos solos amostrados. Por isso, quanto maior o número de pontos coletados para compor uma amostra composta, menor será o erro, assim como à medida que se aumenta o número de amostras simples dentro da mesma área.

Para uma análise com menor erro, sugere-se que em áreas menores ou iguais a 3 ha o número de amostras compostas seja de aproximadamente 15, e de aproximadamente 20 para áreas entre 5 a 10 ha. Quando a área for superior a 10 ha, o número de mostras simples para formas compostas não deve ser inferior a 20.

Curiosidade

Uma colher de chá de solo saudável pode conter mais de 1 bilhão de microrganismos, entre fungos, bactérias e algas benéficas.

4.5 ANÁLISE DE SOLO DA AMOSTRA COLETADA

As análises de rotina de solos devem ser interpretadas de maneira criteriosa para identificar todas as potencialidades e deficiências do solo a ser cultivado. Devem ser observados alguns critérios para uma melhor interpretação dos dados.

O primeiro critério a ser observado são as unidades de medida, que devem estar atualizadas para serem comparadas com os valores absolutos de referência existentes em cada região e órgão de pesquisa.

O segundo critério refere-se à caracterização dos elementos indicados na análise. Por exemplo: a qual elemento específico a soma das bases está indicando um parâmetro elevado ou muito baixo? Qual elemento é responsável pela acidez do solo, pelo pH baixo ou pelo elevado teor de alumínio trocável? Qual é a relação entre o teor de matéria orgânica e a saturação das bases? Qual é a relação entre as condições químicas e físicas do solo? Essas questões podem ser respondidas pela própria análise e já inferem algumas situações em que a química e a física do solo se encontram.

Por fim, o terceiro critério é a correlação entre os parâmetros indicados na análise e a resposta produtiva das plantas e seus sintomas de deficiência ou toxidez de nutrientes. Cada análise de solo realizada na área agrícola deverá ser arquivada para que seja feito um histórico com as informações contidas nas análises de rotina e aplicações de fertilizantes e corretivos, com as respectivas dosagens e fontes para correção da camada arenosa.

5. MECANISMOS DE PERDA

Os mecanismos de perda de nutrientes do solo podem ser descritos pelos processos de erosão, lixiviação ou extração, que estão diretamente relacionados à redução da fertilidade e à produtividade das lavouras.

A erosão remove a camada superficial do solo, rica em matéria orgânica e nutrientes. Já a lixiviação carrega os sais minerais solúveis para camadas mais profundas, fora do alcance das raízes. A extração ocorre quando as plantas retiram nutrientes do solo durante o crescimento e a colheita.

Compreender esses processos é essencial para planejar práticas de manejo e conservação do solo, garantindo uma produção agrícola sustentável e equilibrada.

5.1 PROCESSOS EROSIVOS

A manutenção da fertilidade do solo está vinculada ao balanço entre processos de entrada e saída de nutrientes do sistema. No entanto, diversos mecanismos naturais e antrópicos podem provocar perdas significativas desses elementos, comprometendo o desenvolvimento das plantas e a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Entre os principais processos associados a perdas de nutrientes disponíveis no solo estão a lixiviação, a erosão, a volatilização, a fixação química, a imobilização biológica e a remoção pelas colheitas.

Cada processo é influenciado por fatores de solo como textura, capacidade de infiltração de água, pH, taxa de decomposição dos compostos orgânicos e da palhada e capacidade de extração e exportação de nutrientes pelas culturas.

Os processos de perdas e ganhos de elementos químicos nos solos também estão relacionados aos sistemas de manejo e uso do solo, como fertilizações, correções quanto à acidez, formas de incorporação de material orgânico, método de revolvimento ou ausência total de inversão de camadas. Quanto mais conservacionista for o manejo do solo, maior será a manutenção das características químicas que propiciam a retenção dos nutrientes.

VOCÊ SABIA?

Um aumento de apenas 1% na matéria orgânica do solo pode multiplicar em até cinco vezes a capacidade de retenção de nutrientes, tornando o solo mais fértil, produtivo e resistente à erosão.

É claro que as condições climáticas também afetam os processos de perdas e ganhos dos nutrientes, principalmente precipitação e percolação de água no solo. Entretanto, quanto melhor o manejo, maior será o suporte dos nutrientes no sistema, independentemente de as condições climáticas serem mais adversas. No caso de solos mal manejados, os processos de carreamento de nutrientes estão associados às perdas de partículas minerais por meio de processos erosivos (Figura 34).

Figura 34 – Calhas Parshall para determinação da vazão e coleta de sedimentos.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2023.

O melhor manejo de solo é aquele que propicia a reposição de cada nutriente perdido por lixiviação ou por extração pelas plantas para manter o equilíbrio das concentrações dos nutrientes em solução. Essa afirmação segue uma das leis da fertilidade do solo: a Lei da Restituição, proposta por Voisin. Ela se baseia na necessidade de restituir ao solo os nutrientes absorvidos pelas culturas comerciais e exportados com as colheitas, considerando o esgotamento dos solos em decorrência de cultivos sucessivos como uma das origens da redução da produtividade. Porém, essa lei apresenta algumas limitações quando estamos cultivando em solos com baixa fertilidade natural ou que apresentam problemas relacionados à acidez ou salinidade.

Dentre os processos que mais influenciam as perdas de partículas de solo, de água e de nutrientes destaca-se a erosão do solo, um dos principais fatores de degradação ambiental e perda de produtividade agrícola. Trata-se do processo de desprendimento, transporte e deposição das partículas do solo, geralmente causado pela ação da água ou do vento. Mesmo quando considerada fenômeno natural, sua intensidade é amplificada pelas atividades humanas, como desmatamento, preparo inadequado do solo, monocultura e ausência de práticas conservacionistas.

A forma mais comum de erosão no ambiente agrícola é a hídrica. Ela ocorre quando a chuva ou a água de escoamento superficial supera a capacidade de infiltração do solo, carregando partículas de solo juntamente aos elementos nutrientes. Esse processo pode se manifestar de diferentes formas, conforme as variações da declividade, da intensidade das chuvas, da cobertura vegetal e da textura do solo.

A erosão laminar é a forma inicial de erosão hídrica, caracterizada pela remoção uniforme e quase imperceptível de uma fina camada superficial do solo; porém, dependendo da intensidade das chuvas, pode ser responsável pela perda de todo o horizonte superficial. Esse tipo de erosão ocorre quando as gotas de chuva e o escoamento superficial têm energia suficiente para desprender partículas, mas não formam sulcos visíveis. É mais comum em áreas com pouca cobertura vegetal, declive suave e solos expostos após preparo ou revolvimento.



ALERTA ECOLÓGICO

A erosão laminar pode reduzir drasticamente a fertilidade do solo, comprometer a produtividade agrícola e prejudicar ecossistemas. Para proteger o solo, é fundamental adotar práticas de conservação, como plantio em curvas de nível, cobertura vegetal e manutenção da matéria orgânica.

O processo ocorre quando a água da chuva se espalha pela superfície do solo e vai carregando lentamente partículas de argila, silte, areia, matéria orgânica e nutrientes. Com o tempo, essa perda contínua enfraquece a estrutura do solo e reduz sua fertilidade. Isso leva à diminuição da profundidade efetiva do solo, ao empobrecimento nutricional, à redução da infiltração de água e à maior suscetibilidade a estágios erosivos mais avançados, como a erosão em sulcos.

A principal forma de prevenção da erosão laminar é por meio de práticas conservacionistas, como manter o solo coberto e protegido. Práticas como plantio direto, rotação de culturas, cobertura vegetal e terraceamento (Figura 35) ajudam a reduzir o impacto da água e manter a estabilidade do solo.

Figura 35 – Área agrícola com terraços.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2024.

A erosão em sulcos, por sua vez, é uma forma intermediária de erosão hídrica. Ocorre quando o escoamento superficial da água se concentra em pequenos canais sobre o solo, com profundidade e largura suficientes para serem percebidos a olho nu, mas que ainda não atingem a gravidade das voçorocas.

Assim como na erosão laminar, esse tipo de erosão ocorre quando a intensidade da chuva supera a capacidade de infiltração do solo e a cobertura vegetal ou os resíduos na superfície são insuficientes para protegê-lo.

A declividade é um fator associado ao surgimento dos canais de escoamento da água. Em áreas inclinadas, mal manejadas ou com preparo convencional do solo, a água escorre canalizada e escava pequenos corredores, transportando partículas de argila, silte, areia, matéria orgânica e nutrientes.

Os sulcos geralmente aparecem entre linhas de cultivo, em estradas rurais, áreas de pastagem degradada e talhões mecanizados. Se não forem corrigidos, tendem a evoluir para formas erosivas mais severas, causando perda de solo fértil, assoreamento de corpos hídricos, exposição de raízes e dificuldade no uso de máquinas.

O surgimento desses sulcos em áreas agrícolas reduz o rendimento agrícola pela perda da camada superficial, acarreta maior dificuldade no trânsito de pessoas e equipamentos, pode interromper as linhas de plantio e drenagem e facilita a progressão para erosões mais severas.

O controle da erosão em sulcos envolve práticas conservacionistas, como plantio em nível, terraceamento, plantio direto, rotação de culturas, cobertura do solo, curvas de nível e manejo adequado das águas da chuva. Em muitos casos, é necessário o nivelamento dos sulcos antes que se aprofundem.

O cultivo realizado no sentido da declividade do terreno é um grande facilitador do processo erosivo (Figura 36). Embora a semeadura no sentido da declividade possa auxiliar o processo de operação agrícola, ocorre maior suscetibilidade à erosão entre as faixas de semeadura, principalmente quando nas entrelinhas não há proteção por cobertura vegetal.

Figura 36 – Cultivo no sentido da declividade do terreno.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2021.

Os terraços também auxiliam na redução da erosão do solo, interrompendo o fluxo da água e retendo sedimentos. Ao reduzir a erosão, os terraços protegem a camada superficial do solo rica em matéria orgânica.

Apesar de os terraços desempenharem um papel importante na conservação do solo e no estoque de carbono, de modo a reduzir a erosão do solo e controlar o escoamento da água, ainda existe uma restrição por parte dos produtores rurais em relação a sua adoção.

? VOCÊ SABIA?

A formação de apenas 1 centímetro de solo fértil pode levar até mil anos. Por isso, a conservação do solo é considerada um dos maiores desafios ambientais do planeta.

A erosão do solo é considerada uma fonte líquida de carbono atmosférico. O fluxo líquido de carbono entre o solo e a atmosfera é dependente do destino do carbono orgânico erodido. Entretanto, os impactos devem ser mensurados e contrapostos em virtude do destino do carbono orgânico do solo erodido, tanto durante o trânsito do local de erosão como no local de deposição.

Solos são reservatórios de carbono orgânico cujo fluxo integra diferentes processos que são influenciados pelas condições climáticas e pelas práticas de preparo e manejo de solos.

O teor de carbono orgânico total é um indicador-chave para determinar a qualidade do solo, porém, seu valor isoladamente não caracteriza o potencial de dissipação de dióxido de carbono (CO_2) para a atmosfera. Quantificar a respiração do solo fornece informações da principal via de transferência de carbono para a atmosfera, permitindo o gerenciamento das fontes de CO_2 dos resíduos culturais, pois conforme as práticas manejo adotadas, o solo pode atuar como fonte ou dreno de CO_2 (Figura 37).

Entretanto, as variações do fluxo de carbono no sistema solo-atmosfera estão vinculadas à dinâmica dependente dos processos erosivos e das perdas de material orgânico. Compreender o impacto das práticas agrícolas nas taxas de emissão de gases de efeito estufa é imprescindível para recomendar estratégias de manejo do solo que acarretem baixas emissões.

Figura 37 – Leitor do fluxo de dióxido de carbono no solo.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2024.

5.2 LIXIVIAÇÃO

É um processo natural que consiste na perda de nutrientes e sais minerais devido ao movimento descendente da água por meio do perfil do solo. Quando ocorre excesso de chuvas ou irrigação, a água percola além da zona radicular, arrastando consigo íons solúveis, como cálcio, potássio, magnésio e nitratos.

Esse processo reduz a fertilidade do solo, dificultando o desenvolvimento das plantas e podendo causar desequilíbrios químicos. Além disso, a lixiviação pode provocar impactos ambientais, como a contaminação de lençóis freáticos e cursos d'água por excesso de nutrientes, contribuindo para a eutrofização.



PARA SABER MAIS

Solos bem estruturados armazenam até 20 mil litros de água por metro cúbico, funcionando como um reservatório natural que sustenta as plantas mesmo em períodos de seca.

A intensidade do processo varia conforme o tipo de solo, a textura, a matéria orgânica presente e as práticas de manejo adotadas. Solos arenosos, por exemplo, são mais suscetíveis à lixiviação devido à baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Dessa forma, o conhecimento desse processo é fundamental para o planejamento agrícola sustentável, permitindo o uso adequado de adubação, irrigação e práticas conservacionistas que minimizem a perda de nutrientes e preservem a qualidade ambiental.

Na prática

Antes de realizar qualquer adubação, o produtor deve solicitar uma análise química do solo, garantindo o uso racional de fertilizantes e menor impacto ambiental.

Um elemento químico que se destaca no processo de lixiviação é o nitrogênio, na forma de nitrato (NO_3^-). Trata-se de uma forma altamente solúvel de nitrogênio, que não se liga facilmente às partículas do solo, ficando suscetível a ser carregado pela água da chuva ou da irrigação para as camadas mais profundas do perfil.

Esse processo reduz a disponibilidade de nitrogênio para as plantas, comprometendo a produtividade agrícola, além de representar risco ambiental significativo. A presença excessiva de nitrato em águas subterrâneas pode causar contaminação e afetar a qualidade da água potável.

A lixiviação é mais intensa em solos arenosos, de baixa capacidade de retenção, e em regiões de elevada pluviosidade. Para reduzir esse processo, é essencial adotar práticas de manejo sustentável, como o uso adequado de fertilizantes nitrogenados, a adubação parcelada, o plantio de culturas de cobertura e a rotação de culturas, que contribuem para melhorar a eficiência do uso do nitrogênio e proteger os recursos hídricos.

5.3 EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES

À medida que as plantas se desenvolvem ocorre o consumo de nutrientes, extraídos do solo pelas raízes e transportados para os tecidos das plantas para a realização dos processos fisiológicos como fotossíntese e respiração celular.

A ordem de extração dos nutrientes pelas principais culturas produtoras de grãos é $N = K > Mg > Ca = P > S > Fe > Zn = Mn > B > Cu > Mo$, e a de exportação é $N > K > P > S = Mg > Ca > Zn > Fe > Mn > B > Cu > Mo$. Além disso, o incremento na produção pode influenciar o aumento da extração de alguns elementos, principalmente nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Por esse motivo, é importante correlacionar o potencial produtivo e a situação nutricional quando se objetiva identificar se os ganhos produtivos são consequência do melhoramento genético adotado entre as cultivares de milho estudadas ou efeito da melhoria na extração e exportação dos nutrientes nas plantas.

Identificar a situação nutricional das cultivares por meio do índice nutricional das plantas deve levar em consideração inúmeros fatores, tais como grau tecnológico, influência na produtividade e melhoramento genético das culturas. A melhor situação nutricional tem sido identificada com os índices que mais se assemelham a essa ordem de extração e exportação.

Existe um efeito direto na capacidade de extração de nutrientes pelas plantas e a evolução para obtenção de linhagens mais produtivas. Na cultura do milho, híbridos simples apresentam-se com maior nível tecnológico quanto à uniformidade e à produtividade e, portanto, essa é uma razão para esses híbridos apresentarem maior potencial de extração e mobilidade de nutrientes.

A escolha de híbridos errados acarreta baixo valor nutritivo e, consequentemente, baixas produções. Como consequência, as deficiências nutricionais e os problemas de fertilidade do solo, principalmente para os elementos nitrogênio e potássio, são mais evidentes quando as culturas extraem muitos nutrientes para produzir e exportam grandes quantidades que são retiradas pela colheita dos grãos.

6. LEIS DA FERTILIDADE

A fertilidade do solo é um dos pilares da produção agrícola, pois está diretamente relacionada à capacidade do solo em fornecer nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas. Para compreender e manejar adequadamente essa fertilidade, a Ciência Agrônômica se fundamenta em três leis clássicas, que estabelecem os princípios da adubação e do manejo dos nutrientes: a Lei da Restituição, a Lei do Mínimo e a Lei dos Incrementos Decrescentes.

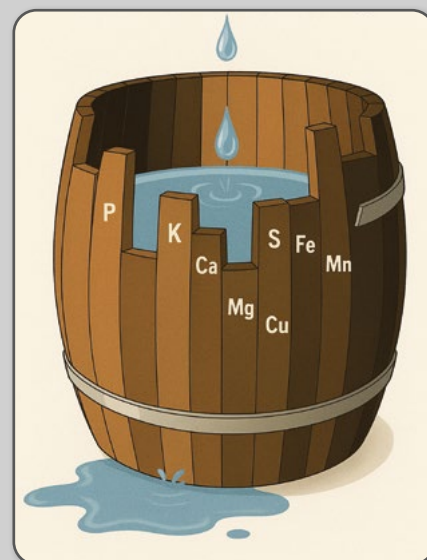
6.1 A LEI DA RESTITUIÇÃO

Proposta por Voisin, afirma que é necessário devolver ao solo os nutrientes que foram absorvidos pelas plantas e exportados durante as colheitas. Esse princípio parte da ideia de que, sem a reposição adequada, o solo se esgota ao longo dos cultivos sucessivos, reduzindo a produtividade. Assim, a adubação deve repor tanto os nutrientes retirados pelas plantas quanto aqueles perdidos por processos naturais, como lixiviação e erosão.

6.2 A LEI DO MÍNIMO

Enunciada por Justus von Liebig, estabelece que o rendimento de uma cultura é limitado pelo nutriente presente em menor disponibilidade, mesmo que todos os outros estejam em quantidades adequadas. Em outras palavras, o elemento deficitário atua como um “fator limitante”, restringindo o crescimento das plantas. Essa lei é comumente representada pelo “barril de Liebig” (Figura 38), em que a tábua mais curta define a quantidade de água que o barril pode conter.

Figura 38 – “Barril de Liebig” representando a Lei do Mínimo.



Fonte – Gerado por IA (Gemini, 2025).

6.3 LEI DOS INCREMENTOS DECRESCENTES

Formulada por Mitscherlich, mostra que o aumento de produtividade obtido com a adição de doses crescentes de um nutriente tende a ser cada vez menor. Isso significa que há um ponto em que o investimento em adubação não resulta em retorno econômico proporcional, sendo necessário buscar o equilíbrio entre a aplicação de nutrientes e o custo-benefício para o agricultor.

7. FORMAS DE ADUBAÇÃO

A fertilização do solo é fundamental na agricultura, pois aumenta a quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas, ajuda a equilibrar as reações de retenção e liberação desses nutrientes no solo, favorece o aproveitamento de outros elementos não aplicados diretamente, estimula o crescimento das raízes e da vida no solo e, como resultado, contribui para o aumento da produtividade das lavouras. Para que todos esses benefícios sejam atingidos, é indispensável incorporar os fertilizantes ao solo adequando sua dosagem conforme a necessidade do solo e as exigências da cultura comercial. Esses dois fatores devem estar relacionados com a forma de incorporação dos fertilizantes, levando em consideração aspectos como a mobilidade e a forma de absorção dos elementos pelas plantas.

7.1 ADUBAÇÕES DE BASE NO PLANTIO

São realizadas juntamente aos processos de semeadura. Trata-se de uma forma de adubação corretiva que visa suprir as necessidades iniciais das culturas comerciais, em função das carências nutricionais dos solos. O princípio básico da adubação de base é observar o efeito residual dos elementos que são aplicados ao solo. O efeito residual depende de cada elemento e da capacidade absorviva do solo. Além disso, a mobilidade do elemento também deve ser levada em consideração. Elementos muito móveis tendem a ser mais facilmente lixiviados, por isso são aplicados em doses mais elevadas.

Uma vez que se elevam as doses aplicadas do fertilizante, pode ocorrer um efeito negativo ao desenvolvimento inicial das sementes, havendo a necessidade de parcelamento na aplicação do fertilizante em cobertura.

Os principais fertilizantes aplicados na base de plantio são o nitrogênio, o fósforo e o potássio. Dentre eles, o fósforo fica restrito à base de plantio, uma vez que apresenta baixa mobilidade, alta capacidade de fixação e, ainda, é necessário aumentar sua concentração para que as plantas possam absorvê-lo mais rapidamente.

O cálcio e o magnésio, geralmente, são fornecidos por meio do processo de calagem, mas também podem ser disponibilizados na base via fertilizantes, principalmente em culturas específicas, como citros, maçã e algodão.

Outro elemento comumente aplicado na base do plantio é o boro. Trata-se de um elemento fornecido por fertilizantes granulados ou em pó, como o ácido bórico, bórax ou ulexita, requerido pelas plantas na fixação das flores e que, conseqüentemente,

aumenta a produtividade pela retenção de vagens em leguminosas em geral, com respostas frequentes em feijão.

Uma das características da aplicação na base do plantio é a uniformidade na distribuição do adubo. Obviamente, o maquinário agrícola deve estar em ordem, bem regulado, e o fertilizante deve estar em boas condições para sua aplicação. Caso contrário, a resposta das plantas para a desuniformidade de aplicação é nítida, conforme demonstra a Figura 39, em que o fertilizante orgânico foi incorporado ao solo pela enxada rotativa de maneira desuniforme.

Figura 39 – Diferenças quanto ao crescimento na cultura do brócolis (*Brassica oleracea*) em virtude de o fertilizante orgânico ter sido incorporado ao solo pela enxada rotativa de maneira desuniforme.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2024.



ATENÇÃO

A regulação e manutenção adequadas do maquinário agrícola são essenciais para preservar a estrutura do solo e garantir a produtividade das lavouras. Estudos indicam que a manutenção preventiva pode reduzir perdas de produtividade em até 30%, ao evitar paradas inesperadas e otimizar o desempenho dos equipamentos.

7.2 ADUBAÇÕES EM COBERTURA

São complementares às adubações de base. Trata-se da disposição do fertilizante em estágios mais avançados do desenvolvimento da cultura. Dessa forma, não somente como complemento à adubação de base, a fertilização em cobertura pode ser preventiva ou de segurança aos sintomas de deficiência que as culturas apresentarem ao longo do seu desenvolvimento.

As plantas são responsivas aos elementos do solo. Por exemplo, foi fornecido a plantas de trigo todo o nitrogênio necessário para seu desenvolvimento na adubação de base, conforme sua exigência em relação às deficiências do solo. Entretanto, as condições do solo foram desfavoráveis à retenção da ureia aplicada em base, havendo necessidade de reposição desse nutriente em cobertura, conforme a Figura 40.

Figura 40 – Deficiência de nitrogênio na cultura do brócolis (*Brassica oleracea*) provocando o amarelecimento das folhas mais velhas.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2020.

Os fertilizantes mais aplicados em cobertura nos sistemas agrícolas são o nitrogênio e o potássio. Ambos os nutrientes são aplicados em cobertura como forma de minimizar o impacto de elevadas doses de fertilizante sobre a germinação das sementes, como o efeito salino discutido anteriormente. No caso do nitrogênio, cuja principal fonte é o fertilizante ureia, existem produtos com estabilização melhor para evitar a volatilização do nutriente, como ureia polimerizada. Já o potássio é aplicado em cobertura devido a seu efeito salino.

7.3 ADUBAÇÕES FOLIARES

Baseiam-se no princípio de absorção dos nutrientes em tecidos que compõem a parte aérea das plantas. As folhas, por apresentarem estômatos (Figura 41), que são orifícios que realizam trocas gasosas e controlam a transpiração da planta, contêm células ao redor que são veículos eficientes em absorção.

Figura 41 – Estômatos na lupa 60x no limbo foliar.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2022.

O nutriente aplicado por meio da adubação foliar não precisa passar por processos e reações, como os componentes que são absorvidos via solo. Para que um nutriente possa ser aproveitado, ele precisa passar por alguns processos que o transformam em um componente estrutural de uma substância que participa do metabolismo. Uma vez que o nutriente foi absorvido pelas folhas, parte desse processo é reduzido e sua eficiência está condicionada a qual papel ele atua em tal processo.

A aplicação foliar deve ser realizada em doses baixas e com a presença de água, na forma de pulverizações, uma vez que pode acarretar fitotoxidez, provocando a queima do tecido.

A Figura 42 representa a queima do tecido foliar em plantas de milho pelo excesso de ureia em cobertura associado ao clima frio fora de época, ao excesso de chuva e a poucos dias de sol, ocasionando estresse metabólico da planta expressado pelo amarelecimento (clorose).

Figura 42 – Sintomatologia em folhas de milho ocasionada pelo excesso de ureia em cobertura.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2025.

Para alguns elementos não existe restrição nesse processo, e o tempo de absorção se reduz. Entretanto, sua eficiência é mais vinculada aos micronutrientes, cuja maioria é pouco móvel nos tecidos vegetais. Dessa forma, a eficiência é maior quando a aplicação atinge partes da planta em que a deficiência é notada, atingindo os tecidos nos quais o sintoma de deficiência é evidente.

A principal restrição da adubação foliar está relacionada à idade da planta. Isso porque aquelas que estão em estágio de desenvolvimento avançado, no qual o metabolismo é mais lento e os resultados não ficam evidentes (principalmente quanto ao aumento em produtividade), devem ser tratadas de forma mais curativa do que preventiva.

7.4 TRATAMENTO DE SEMENTES

Outra forma de aplicação de fertilizantes é por meio do tratamento de sementes. A aplicação de micronutrientes é eficiente na forma de pulverizações foliares. Entretanto, a recomendação de dosagem de alguns micronutrientes é muito baixa, o que dificulta a homogeneização e distribuição desse nutriente. Assim, a aplicação do fertilizante

via semente é muito mais eficiente, pois disponibiliza o elemento desde a primeira formação das radículas (Figura 43), que são os primeiros tecidos emitidos pelas sementes que têm capacidade de absorver os nutrientes. Entretanto, nas radículas os sistemas ainda não estão plenamente desenvolvidos, como os vasos condutores, que estão presentes nas raízes.

Figura 43 – Desenvolvimento inicial de sementes de abóbora cultivadas em substrato vermiculita, evidenciando o desenvolvimento das radículas.



Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2025.

8. CALAGEM, TIPOS DE CALCÁRIOS, REATIVIDADES E CÁLCULOS

A calagem é uma prática fundamental na agricultura usada para corrigir a acidez do solo. Consiste na aplicação de corretivos, como o calcário, que aumentam o pH e melhoram as condições químicas do solo. Além de reduzir a acidez, a calagem fornece cálcio e magnésio, nutrientes essenciais para as plantas, e aumenta a disponibilidade de outros nutrientes, favorecendo o desenvolvimento das raízes e a atividade dos microrganismos do solo. Essa correção é essencial para garantir melhor aproveitamento dos fertilizantes e maior produtividade das culturas.

8.1 CONCEITOS DE ACIDEZ ATIVA E ACIDEZ POTENCIAL DOS SOLOS

A acidez ativa do solo é representada pelos íons de H^+ dissociados na fase líquida do solo e em equilíbrio com a fase sólida. Como a concentração de prótons dissociados é muito baixa, ela tem sido representada pelo potencial hidrogeniônico (pH), que pode ser medido em água (pH em H_2O) ou em soluções salinas (pH $CaCl_2$ e pH KCl).

Já a acidez potencial é representada pelos hidrogênios covalentes (acidez não trocável) e eletrovalentes e pelo alumínio trocável (expresso como $cmol_c$ de $H^+ + Al^{+3}$ por dm^{-3} de solo). Partes do hidrogênio e do alumínio estão ligadas por forças eletrostáticas e podem ser deslocadas por outros cátions, recebendo a denominação de acidez trocável.

A acidez ativa resulta das cargas de H^+ dissolvidas em solução do solo (fase líquida). A quantificação dessas cargas é avaliada pelo logaritmo da concentração do elemento $[H^+]$; dessa forma, quando se extrai a concentração do elemento avaliado em íons grama dm^{-3} , temos uma escala que pode variar entre 0 a 14, conhecida como escala do pH.

Para solos em condições tropicais, o pH apresenta valores mais ácidos (inferiores a 6,9) na maioria das avaliações. Os solos do estado do Paraná, por exemplo, podem variar entre 2,5 a 6,5, raramente atingindo níveis de alcalinidade.



PARA SABER MAIS

Em solos muito ácidos (pH abaixo de 5), alguns nutrientes essenciais para as plantas, como fósforo, cálcio e magnésio, ficam “presos” no solo e não conseguem ser absorvidos pelas raízes. Ao mesmo tempo, elementos tóxicos como alumínio e manganês se tornam mais solúveis, podendo até envenenar as plantas.

A acidez trocável é representada pelos íons de alumínio dispersos na solução do solo que causam efeitos nocivos ao desenvolvimento do sistema radicular. Em contrapartida, a acidez não trocável resulta dos íons de hidrogênio dispostos em fase sólida, associados aos íons de alumínio. Quando maior a capacidade de retenção de elementos do complexo coloidal, que inclui a matéria orgânica, maior a acidez potencial desse solo.

A acidez não trocável não causa nenhum efeito danoso ao crescimento das plantas. É dessa forma que o sistema plantio direto tem demonstrado resultados positivos, tanto na complexação do alumínio trocável quanto na elevação do pH do solo pela adsorção de íons de H^+ .

8.2 MÉTODOS DE RECOMENDAÇÃO DE APLICAÇÃO DE CALAGEM

Ao interpretar os níveis dos elementos nos solos deve-se levar em consideração os valores de referência propostos para cada estado do país. Os métodos de recomendação da necessidade de calagem também são diferenciados por estados. Um dos métodos se baseia na correção do alumínio, outro é para elevar a saturação de bases a níveis desejados pelas plantas e outro é para elevar o pH do solo a níveis desejáveis para a cultura.

O método que determina a necessidade de calagem por meio da saturação das bases é usado como referência para cálculo no estado do Paraná e estabelece uma meta de correção para elevar a saturação das bases acima de 70%, por exemplo, indiretamente planejando-se atingir valores próximos de 5,4 a 6,0 de pH, avaliado em $CaCl_2$ e água, respectivamente. Dessa forma, tem-se a fórmula da necessidade de calagem pelo método do V%, definida pela seguinte equação:

$$NC(th^{-1}) = \frac{[(V2 - V1) \times CTC]}{PRNT}$$

em que:

- V1: saturação por bases inicial do solo
- V2: saturação por bases desejada em função da cultura de interesse que, no caso de um sistema de rotação de culturas, pode ser a espécie mais exigente e mais rentável
- CTC: capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (em $cmol_c dm^{-3}$)
- PRNT: poder relativo de neutralização total do corretivo (%)

Quando não se tem conhecimento do PRNT do corretivo que será utilizado, deve-se adotar o valor de 100 para esse índice.

Tradução prática

- A saturação por bases inicial do solo representa a porcentagem da capacidade total de troca de cátions (CTC) que está ocupada por nutrientes básicos, como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e sódio (Na^+). Ela indica a quantidade de nutrientes disponíveis no solo para as plantas antes da correção.
- A saturação por bases desejada é o valor que se pretende atingir após a calagem ou correção do solo. Esse valor varia conforme a cultura de interesse, pois cada espécie tem exigências diferentes quanto à fertilidade.
- A CTC (Capacidade de Troca de Cátions a pH 7,0), expressa em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, mostra a capacidade do solo de reter e trocar nutrientes positivos (cátions). Solos com CTC alta conseguem armazenar mais nutrientes e manter maior fertilidade.
- O PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) indica a eficiência do corretivo (como o calcário) em neutralizar a acidez do solo. Quanto maior o PRNT, mais rápido e eficiente será o efeito do corretivo na elevação do pH e no aumento da saturação por bases.

Os valores de saturação das bases desejadas em função da cultura de interesse são definidos pelo *Manual de Adubação e Calagem do Estado do Paraná*, conforme a tolerância à acidez por espécies:

- **1ª – alta (V% entre 21 a 35% e pH entre 4,0 a 4,4):** para culturas como pinus, eucalipto e erva-mate;
- **2ª – média (V% entre 36 a 50% e pH entre 4,5 a 4,9):** para culturas como arroz, braquiárias, campo nativo, gengibre e mandioca;
- **3ª – baixa (V% entre 51 a 70% e pH entre 5,0 a 5,6):** para culturas como alfafa, amexeira, amendoim, amoreira, aveia, azevém, bananeira, batata, café, camomila, cana-de-açúcar, canola, caquiizeiro, cebola, cevada, chuchu, citros, crambe, feijão, goiabeira, melissa, milheto, milho, nectarina, pessegueiro, pupunha, seringueira, soja, sorgo, trigo, tritcale e videira;
- **4ª – não tolerante (V% entre 71 a 80% e pH entre 5,6 a 6,0):** para culturas como alface, almeirão, atemoia, beterraba, brócolis, cenoura, couve-flor, mangueira, maracujazeiro, morangueiro, salsa e tomate.

8.3 PRINCIPAIS CORRETIVOS AGRÍCOLAS

Os corretivos agrícolas são produtos que neutralizam os efeitos da acidez do solo, elevando o pH a níveis que proporcionam maior disponibilidade de macro e microelementos, neutralizando o H^+ do solo, além de reduzir os efeitos do Al^{+3} .

Podemos dividir os corretivos agrícolas de acidez do solo em três grupos: dos carbonatos (radical CO_2), dos hidróxidos (radical OH) e dos óxidos (radical O). Esses grupos se diferenciam pela composição química, pelo poder de neutralização (PN) e pela quantidade equivalente a uma tonelada de $CaCO_3$, conforme Quadro 6.

Quadro 6 – Composição química, poder de neutralização (PN) ou equivalente em $CaCO_3$ ($ECaCO_3$) e quantidades equivalentes a uma tonelada de $CaCO_3$ dos principais compostos presentes em corretivos de acidez.

Principais corretivos agrícolas	Poder de neutralização	Quantidade equivalente
	(%)	(kg)
Carbonato de cálcio	100	1 000
Carbonato de magnésio	119	840
Hidróxido de cálcio	135	741
Hidróxido de magnésio	172	581
Óxido de cálcio	179	559
Óxido de magnésio	248	403

Fonte – Carla Fernanda Ferreira, 2025.

8.3.1 Carbonatos

Os calcários têm proporções diferenciadas quanto à concentração de cálcio e magnésio, podendo ser classificados como calcíticos, quando o teor de óxido de magnésio (MgO) é inferior a 5%; magnesianos, com teor de MgO entre 5 a 12%; ou dolomítico, quando o teor é superior a 12%.

No mercado, a diferença de preços entre os calcários é expressiva. Todas essas alterações estão relacionadas ao custo de extração, à localização e abundância de jazidas, à demanda de ordem agrícola e principalmente à qualidade química e física do produto e aos custos com transporte.

Existem outras fontes de carbonatos utilizados como corretivos de solo ou como fontes fertilizadoras de cálcio e magnésio, por exemplo, os calcários de conchas, cinza leve de biomassa e escórias de resíduos de siderúrgicas. Seu uso agrícola está condicionado a um laudo laboratorial indicando ausência de metais pesados aceitos

pelo Ministério do Meio Ambiente, conforme Instrução Normativa n.º 27, sancionada em 2006, a qual determina os níveis toleráveis admitidos para as produções agrícolas quanto ao uso de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes.

8.3.2 Hidróxidos

São corretivos obtidos industrialmente pela hidratação da cal virgem. Os principais hidróxidos utilizados como corretivos agrícolas são o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e o hidróxido de magnésio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$).

A cal, lama de cal residuária do processo de clareamento da celulose, também é empregada como um hidróxido corretivo da acidez do solo. Entretanto, o uso desse resíduo fica restrito a áreas próximas a indústrias de celulose.

Todo hidróxido necessita de cuidados especiais durante o manuseio, uma vez que tem provoca a corrosão do maquinário agrícola e pode causar danos ao operador, como queima da pele e ardência aos olhos. Mesmo com baixa concentração de hidróxido de sódio (NaOH), a cal, além de ter ação corrosiva, causa danos às plantas se aplicada em excesso devido ao sódio (Na).

Quando comparados aos carbonatos, os hidróxidos apresentam como vantagens o alto poder de correção em velocidade mais rápida e seu baixo peso, reduzindo os custos com transporte. Entretanto, trata-se de um produto com granulometria muito fina, sujeito à deriva.

8.3.3 Óxidos

Os óxidos, como a cal virgem e o calcário parcialmente calcinado, são produtos obtidos da queima parcial dos carbonatos, transformando parte deles em óxidos. São utilizados no processo de correção dos solos, mas seu alto custo muitas vezes inviabiliza sua utilização. Entretanto, apresenta a maior velocidade de correção quando comparados aos outros corretivos agrícolas.

8.3.4 Gesso agrícola

O gesso agrícola (CaSO_4) é um sal neutro, oriundo de escória de indústrias de fertilizantes fosfatados, composto de aproximadamente 20% de cálcio e 15% de enxofre. É um condicionador de solo, pois reduz o excesso de alumínio tóxico no solo, entretanto não proporciona nenhum efeito benéfico sobre o pH. O alumínio trocável pode ser corrigido por meio do deslocamento das hidroxilas pelo íon sulfato, provindo do gesso agrícola. É utilizado como fonte de nutrientes para os cultivos,

melhorando as condições quanto ao desenvolvimento de raízes, uma vez que, entre suas propriedades, carrega elementos para as camadas mais profundas do solo.

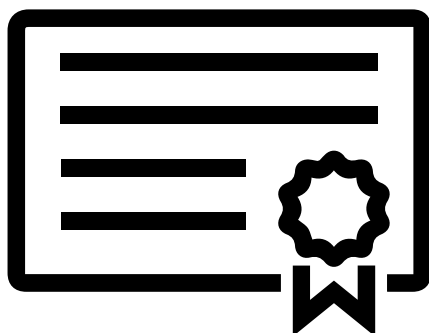
A aplicação do gesso agrícola promove a movimentação dos elementos cálcio, magnésio e enxofre no solo, macroelementos presentes em sua composição química exigidos na nutrição mineral de plantas. A aplicação do gesso agrícola, combinada com a do calcário, melhora a produtividade das culturas, ampliando a densidade de raízes finas, eficientes no processo de absorção dos nutrientes.

Dessa forma, por se tratar de um condicionante de solo que melhora as condições em camadas mais profundas, está sendo utilizado como uma fonte de percolação de elementos e correções em sistemas agrícolas sem revolvimento de camadas, uma vez que os processos de calagem em sistema de plantio direto são mais complicados. Também tem sido utilizado em sistemas florestais e culturas perenes pela mesma característica.

REFERÊNCIAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014.
- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. (Org.). **Mapa de solos do Estado do Paraná**: Escala 1:250.000. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de conservação do solo e da água**. Brasília, DF: Embrapa, 2020.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2023.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Status of the world's soil resources (SWSR)**. Rome: FAO, 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2025.
- GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2021.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Recursos naturais e meio ambiente**: uma visão do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- IAPAR-EMATER – Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná. **Solos do Estado do Paraná**: caracterização e potencialidades de uso agrícola. Londrina: IDR-Paraná, 2021.
- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.
- MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3. ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.
- SANTOS, H. G.; 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.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. (Coord.). **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2019.
- SBCS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11ª ed. Porto Alegre, RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016. 376 p

CERTIFICADO DO CURSO



O certificado de conclusão é emitido, no mínimo, 30 dias após encerramento do curso, tempo necessário para o instrutor realizar a análise de desempenho de cada aluno, para que, posteriormente, a área de certificação do Sistema FAEP/SENAR-PR realize a emissão.

Você pode acompanhar a emissão de seu certificado em nosso site ***sistemmafaep.org.br***, na seção Cursos SENAR-PR > Certificados ou no QRCode ao lado.



Consulte o catálogo de curso e a agenda de datas no sindicato rural mais próximo de você, em nosso site ***sistemmafaep.org.br***, na seção Cursos ou no QRCode abaixo.



***Esperamos encontrar você novamente
nos cursos do SENAR-PR.***



SISTEMA FAEP



Rua Marechal Deodoro, 450 - 16º andar
Fone: (41) 2106-0401
80010-010 - Curitiba - Paraná
e-mail: senarpr@senarpr.org.br
www.sistemafaep.org.br



Facebook
Sistema Faep



Twitter
SistemaFAEP



Youtube
Sistema Faep



Instagram
[sistema.faep](https://www.instagram.com/sistema.faep)



Linkedin
[sistema-faep](https://www.linkedin.com/company/sistema-faep)



Flickr
SistemaFAEP