



C A P Í T U L O 3

MORFOLOGIA E FÍSICA DO SOLO

Elias da Silva Scopel

Adriana Modolon Duarte

3.1 PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS E DESCRIÇÃO DE PERFIS DE SOLO

Para a física, o solo é um meio poroso, não rígido, trifásico, constituído pelas fases ar, água e solo, formado de partículas que apresentam complexidade de forma, tamanho e estrutura.

As propriedades morfológicas do solo referem-se às características físicas e visíveis que podem ser observadas a olho nu ou com instrumentos simples. Essas propriedades são essenciais na classificação e descrição dos solos, já que fornecem informações sobre a formação e o desenvolvimento do perfil de solo ao longo do tempo. Um perfil de solo descrito corretamente, permite avaliar o histórico de processos ambientais e a capacidade do solo em sustentar diferentes tipos de vegetação ou cultivos.

3.2 PERFIL DE SOLO

O perfil de solo é uma representação vertical das camadas ou horizontes, desde a superfície até a rocha matriz ou material não alterado. Essa estrutura proporciona uma visão detalhada das variações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em diferentes profundidades.

Cada horizonte do perfil de solo reflete condições ambientais e processos pedogenéticos específicos que contribuem para a fertilidade e uso do solo. Conhecer as características dos horizontes do solo e realizar uma análise do perfil, nos permite prever o potencial de uso desse solo, bem como as práticas de manejo mais adequadas.

3.2.1 Horizontes do solo

Os horizontes do solo são camadas que refletem processos como decomposição, lixiviação e acumulação de minerais. Os principais horizontes são identificados por letras maiúsculas e possuem propriedades distintas:

- **Horizonte O ou H (Orgânico):** Composto principalmente por matéria orgânica em decomposição, este horizonte é essencial para a ciclagem de nutrientes e para a proteção do solo contra erosão. Em ecossistemas florestais, o horizonte O pode ser espesso, enquanto em solos agrícolas ele tende a ser menor devido ao manejo intensivo (Harpstead et al. 1996).
- **Horizonte A (Superficial):** Esta camada rica em matéria orgânica e minerais lixiviados abriga a maioria das raízes das plantas e é fundamental para a fertilidade do solo (Lima; Melo, 2007).
- **Horizonte E:** Encontrado em alguns solos, este horizonte é caracterizado pela perda de argila, ferro e alumínio, deixando predominantemente minerais de quartzo, o que confere a ele uma cor clara.
- **Horizonte B (Acumulação):** É onde ocorre a acumulação de argila e minerais transportados dos horizontes superiores. A presença de óxidos de ferro e outros compostos minerais dá ao horizonte B uma coloração característica e maior densidade (Pereira et al. 2019).
- **Horizonte C (Material Não Alterado):** Este horizonte é composto por material rochoso pouco intemperizado, que ainda não foi completamente alterado pelo processo pedogenético.
- **Horizonte R (Rocha Subjacente):** Não é tecnicamente parte do solo, mas é a rocha matriz que contribui para a formação dos horizontes superiores ao longo do tempo (Hillel, 1998).

Figura 3.1- Exemplo de perfil do solo com seus diferentes horizontes.



Fonte: Guitarrara (2023).

3.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

As propriedades físicas do solo determinam a forma como ele reage a diferentes condições ambientais e práticas de manejo. Entre essas propriedades estão a cor, a consistência, a textura, a estrutura e a porosidade.

3.3.1 Cor do solo

A coloração do solo é uma propriedade morfológica crucial que pode ser prontamente avaliada no terreno. Essa coloração, em sua maioria, nos solos tropicais, reflete principalmente a composição de minerais de ferro e o teor de matéria orgânica presente no solo. A tonalidade de um horizonte ou camada pode mostrar uma uniformidade relativa ou apresentar combinações de várias tonalidades. A identificação da coloração do solo no campo é uma tarefa simples que envolve a comparação visual de amostras secas e úmidas, fazendo uso do sistema de carta de cores de Munsell.

Os pigmentos naturais, principalmente os óxidos de ferro e a matéria orgânica, encontrados no solo, desempenham um papel crucial na determinação de sua coloração. Em solos arenosos, a presença limitada de ferro e matéria orgânica resulta em colorações claras, devido à predominância dos grãos de quartzo. Em contrapartida, solos argilosos possuem maior concentração de óxidos de ferro e matéria orgânica, o que os torna mais coloridos. A quantidade de matéria orgânica afeta diretamente a intensidade da coloração do solo, sendo que maiores quantidades conferem uma tonalidade mais escura.

A forma dos óxidos de ferro é o fator determinante da cor do solo, o que significa que solos com teores elevados ou reduzidos de ferro podem exibir cores variadas, como amarelo, vermelho ou marrom, as quais imprimem certas características ao solo, de acordo com Pereira et al. (2019):

- Tonalidades claras (Cinza, Bege): geralmente sinalizam baixa presença de matéria orgânica e baixa concentração de óxidos de ferro. Esses tipos de solos podem ser deficientes em nutrientes e podem possuir uma capacidade reduzida para reter água. A falta de matéria orgânica pode prejudicar a fertilidade do solo.
- Tonalidades vermelhas e amarelas: a existência de óxidos de ferro pode conferir matizes vermelhos, amarelos ou alaranjados ao solo. A intensidade da tonalidade pode variar de acordo com a estrutura dos óxidos de ferro presentes. Solos com tons vermelhos podem denotar a presença de ferro na forma de hematita, enquanto solos com matizes amarelos podem indicar a presença de goethita. Essas tonalidades podem sugerir adequadas condições de drenagem e aeração, mas não necessariamente espelham a fertilidade do solo.
- Tonalidades escuras (preto, marrom-escuro): tons escuros normalmente indicam uma quantidade significativa de matéria orgânica em decomposição. Esta matéria orgânica enriquece a fertilidade do solo ao fornecer nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Além disso, solos de tons mais escuros geralmente têm uma capacidade superior de retenção de água em comparação com solos mais claros.
- Tonalidades azul ou cinza em solos encharcados: essas cores, especialmente quando estão saturados de água, podem sinalizar questões de drenagem ou retenção excessiva de água. Essas circunstâncias podem resultar na escassez de oxigênio nas raízes das plantas, prejudicando o desenvolvimento das culturas.

3.3.2 Consistência do solo

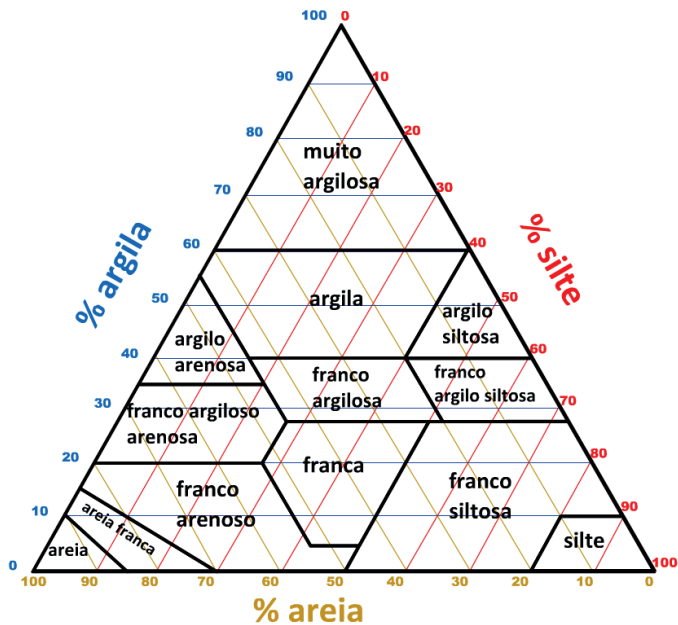
A consistência do solo é uma característica morfológica que pode ser percebida pelo tato e se manifesta através da sua dureza, friabilidade, pegajosidade e plasticidade do solo. Quando o solo está seco, a consistência se traduz em dureza, que representa a sua resistência à quebra; para avaliá-la devemos pegar um pedaço de solo seco e tentar quebrá-lo com os dedos ou, se necessário, com as mãos. Em casos de solos extremamente firmes, até mesmo o uso de ambas as mãos pode não ser suficiente para quebrá-los (Lima; Melo, 2007).

Quando o solo está úmido, tratamos a consistência como friabilidade, esta é uma característica que se refere à capacidade do solo de se desfazer facilmente em pequenos pedaços ou torrões quando é manipulado ou trabalhado. Em solos friáveis, a estrutura do solo é solta e granular, o que facilita a aeração, a penetração de raízes das plantas e o preparo do solo para o cultivo. A plasticidade também é vista em solos úmidos, onde este pode ser moldado em diferentes formas. Já a pegajosidade, é uma característica de solos molhados, e refere-se à aderência do solo às mãos ou a outros objetos.

3.3.3 Textura e granulometria do solo

A textura do solo é definida pela proporção de partículas primárias (areia, silte e argila) que o compõem (Figura 3.2). Ela afeta diretamente a retenção de água, a aeração e a disponibilidade de nutrientes. Solos arenosos, com grandes poros, drenam rapidamente, enquanto solos argilosos retêm água por mais tempo devido aos poros menores.

Figura 3.2 – Triângulo textural do solo.



Fonte: Quoos (2016).

A textura do solo é um dos principais indicadores de qualidade e produtividade dos solos, pois afeta a adesão e coesão entre as partículas do solo devido aos seus diferentes diâmetros (Tabela 3.1), bem como o manejo dos solos (He et al. 2014). Isso, por sua vez, impacta a dinâmica da água no solo. Além disso, a textura do solo desempenha um papel como um fator ambiental, influenciando diretamente os processos ecológicos, como a ciclagem de nutrientes e a troca de íons.

Tabela 3.1 – Escalas granulométricas.

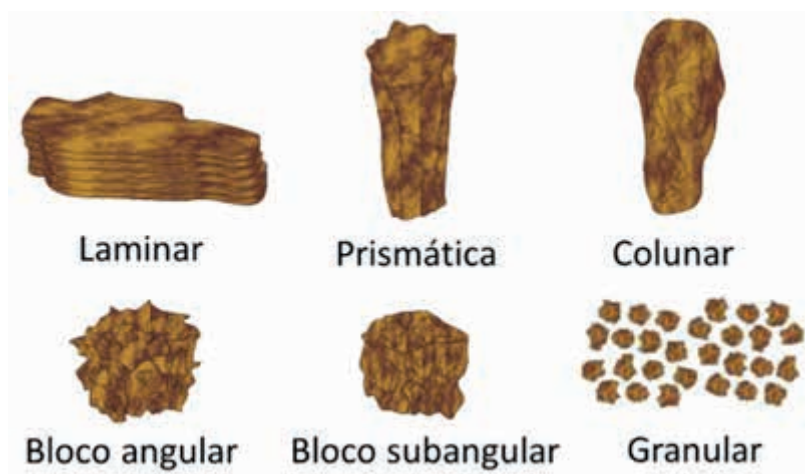
Fração	Diâmetro (mm)
Areia grossa	2,0 – 0,2
Areia fina	0,2 – 0,053
Silte	0,053 – 0,002
Argila	<0,002

Fonte: EMBRAPA, 2017.

3.3.4 Estrutura do solo

Lima e Melo (2007) definem que os agregados do solo, comumente conhecidos como “torrões do solo”, na sua configuração natural, constituem a organização estrutural do solo. Esses agregados se caracterizam por apresentar uma diversidade de tamanhos e formas (Figura 3.3), mas essencialmente consistem na união das partículas elementares, ou seja, grãos de areia, silte e argila.

Figura 3.3 - Representação esquemático das estruturas do solo.



Fonte: Adaptado de Capeche (2008).

3.3.5 Porosidade do solo

Os poros no solo são retratados como cavidades de variados tamanhos e formatos, os quais são determinados pela organização das partículas sólidas e compreendem a fração volumétrica do solo que é preenchida com ar, água e nutrientes. Dessa forma, os poros são o local onde acontecem os processos dinâmicos do ar e da solução do solo (Hillel, 1972; Cooper, 2019).

Hillel (1980) constatou que um solo considerado ideal deve exibir um tamanho e capacidade apropriados de porosidades, para permitir a entrada, circulação e retenção de água e ar, de modo a atender às exigências das plantações, sendo categorizados conforme suas dimensões e funções em: criptoporos ($<0,2 \mu\text{m}$), microporos ($0,2 - 50 \mu\text{m}$), macroporos ($50 \mu\text{m}$).

3.3.6 Capacidade de retenção de água

A capacidade de retenção de água (CRA) é um parâmetro crucial na agricultura, na gestão de recursos hídricos e na compreensão dos ecossistemas terrestres. Ela se refere à habilidade de um solo em reter água após a drenagem excessiva, permitindo que as plantas acessem a água de que precisam ao longo do tempo. A capacidade de retenção de água no solo é influenciada por vários fatores, incluindo a textura do solo, a estrutura, a matéria orgânica e as condições climáticas (Portela, 2001). Brady e Weil (2008) conceituam outros parâmetros interligados a CRA, sendo eles:

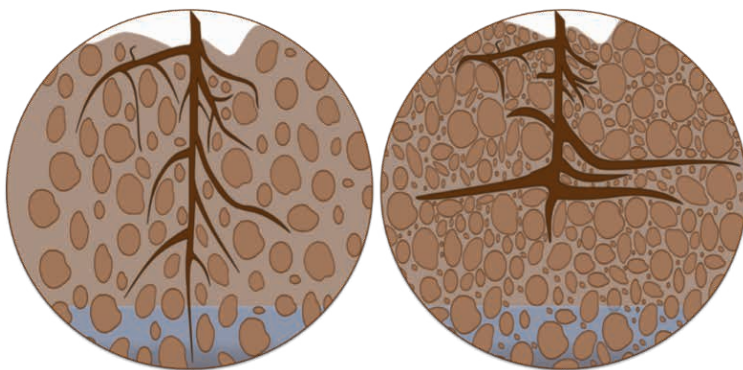
- I Capacidade de campo (CC): descrita como a capacidade de um solo reter água disponível para as plantas, referindo-se à quantidade máxima de água que um solo é capaz de reter após a drenagem gravitacional do excesso de água.
- I Ponto de murcha permanente (PMP): se refere ao teor de umidade do solo no qual as plantas não conseguem mais extrair água devido à força de sucção excessiva no solo. Em um solo bem drenado, as plantas podem extrair água até que o solo atinja esse ponto de murcha permanente, após o qual elas começam a murchar e podem eventualmente morrer devido à falta de água.

3.3.7 Densidade do solo

De acordo com Almeida et al. (2017) a densidade do solo é uma medida que descreve a massa de um solo por unidade de volume, é um parâmetro importante na caracterização do solo, pois está relacionado à compactação e à porosidade do solo, o que, por sua vez, afeta sua capacidade de retenção de água, aeração e fertilidade. Além disso, altos valores de densidade de solo, causam restrição no desenvolvimento de plantas (Scopel, 2023).

A compactação do solo (diminuição da densidade do solo) é o fenômeno que descreve a redução de volume de solos não saturados quando uma pressão externa específica é exercida, essa pressão pode ser originada devido à circulação de máquinas agrícolas, veículos de transporte ou a presença de animais; altos valores de compactação do solo geram dificuldade não crescimento de raízes das plantas, devido ao aumento da resistência a penetração, diminuição dos espaços aéreos dos solos e também interferindo na disponibilidade de água às plantas (Hillel, 1998), como pode ser observado na figura 3.4, onde é ilustrado o crescimento da raiz em solo bem manejado (esquerda) e o mesma raiz em um solo compactado com diminuições dos espaços porosos (direita).

Figura 3.4 – Ilustração de como deve ser o espaço poroso do solo (esquerda) e como é um solo em estado compactado (direita), comparando diferenças no crescimento radicular.



Fonte: Amaral (2021).

3.3.8 Temperatura do solo

De acordo com Dantas et al. (2017), a temperatura do solo emerge como um elemento significativo no crescimento das plantas, uma vez que o solo, além de atuar como reservatório e possibilitar a movimentação de solutos, gases e água, também tem a habilidade de reter e conduzir calor.

A transferência de calor no solo reflete a energia disponível para os processos físicos e biológicos que ocorrem nas camadas mais profundas do solo. Esse fluxo térmico é diretamente influenciado pela variação de temperatura em diferentes profundidades e pela capacidade de condução térmica do solo. Em estudos que envolvem o equilíbrio de energia, a avaliação do calor no solo é de vital importância, uma vez que ele representa a entrada ou saída de energia de um sistema específico, afetando os fluxos de calor latente e sensível e, por conseguinte, influenciando as taxas de evaporação e transpiração (Galvani et al. 2001).

A temperatura do solo, de acordo com Reichardt e Timm (2016) é dependente de três fatores: fatores atmosféricos, podendo destacar a radiação solar, nebulosidade, hora do dia e estações do ano; fatores de cobertura do solo, que podem ser de vários tipos, como vegetado, não vegetado, estufas (plástico, vidro ou telas), ou coberturas mortas; e fatores do solo como suas propriedades físicas (textura, cor, densidade, umidade e condutividade térmica).

3.4 ÁGUA DO SOLO: CARACTERÍSTICAS E COMPORTAMENTO

A água do solo desempenha um papel crucial na sustentação da vida vegetal e na hidrologia terrestre. Suas características e comportamento são fundamentais para entender os processos ambientais. Reichardt (1990, p. 1) explana que:

“Qualquer cultura, durante seu ciclo de desenvolvimento, consome um enorme volume de água, sendo que cerca de 98% deste volume apenas passa pela planta, perdendo-se posteriormente na atmosfera pelo processo de transpiração. Este fluxo de água é, porém, necessário para o desenvolvimento vegetal e por este motivo sua taxa deve ser mantida dentro dos limites ótimos para cada cultura.”

A retenção de água no solo refere-se à capacidade do solo de manter a água disponível para as plantas e outros processos ambientais. Essa capacidade de retenção de água é influenciada por várias características do solo, incluindo sua textura, estrutura, matéria orgânica e porosidade.

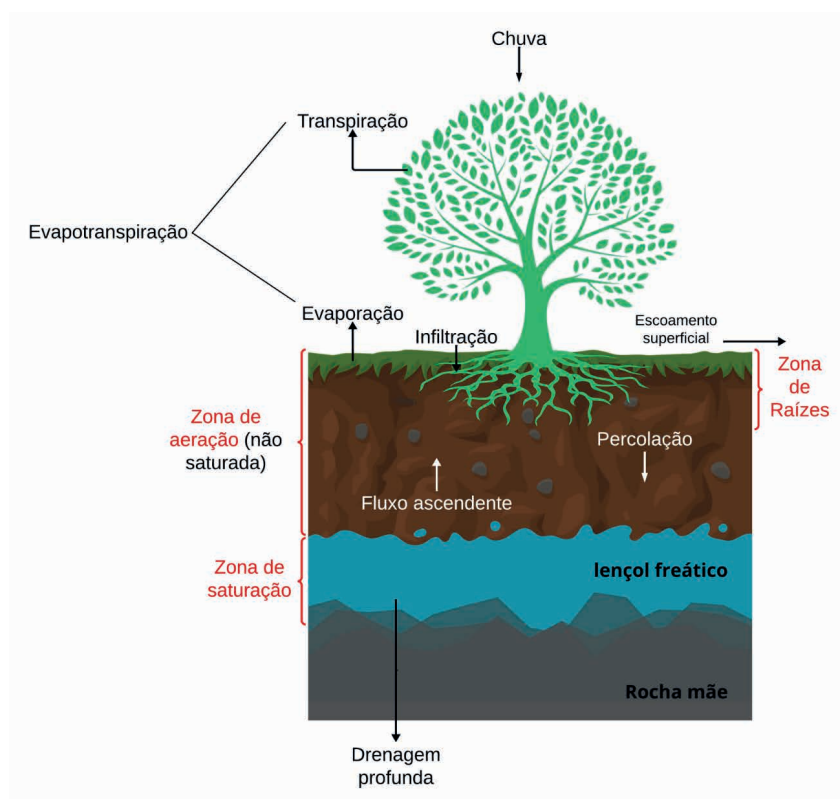
De acordo com Libardi (2005), são dois mecanismos que descrevem como a água é retida em um solo não saturado. No primeiro deles, a retenção acontece nos poros capilares do solo e pode ser exemplificada pelo fenômeno da capilaridade, o qual está sempre ligado a uma interface curva água/ar. No segundo processo, a retenção se dá por meio de camadas finas de água aderidas às superfícies dos sólidos do solo, através do fenômeno de adsorção.

Infiltração é o processo pelo qual a água entra e se mantém no solo enquanto houver disponibilidade de água em sua superfície, é responsável pelo processo de erosão, além de também ser responsável pelo balanço hídrico na área radicular (Reichardt; Timm, 2016).

Quando a chuva ou irrigação é cessada, a água continua a se mover pelo solo, procurando locais com menores potenciais, processo conhecido como **redistribuição**; durante os processos de infiltração e redistribuição, a água pode ser absorvida pelas plantas e ser perdida para a atmosfera (devido ao potencial da atmosfera ser menor do que o da planta), esse processo é chamado de **transpiração**, da mesma forma, o solo pode perder água para a atmosfera em um mecanismo conhecido por **evaporação**.

A união das perdas de água para a atmosfera, da planta e do solo, é denominada de **evapotranspiração**; por fim, quando há perdas de água, onde estas saem da zona explorada pelas raízes, ocorre a **drenagem profunda** (Reichardt, 1978). Um exemplo destes mecanismos pode ser observado na Figura 3.5.

Figura 3.5 – Processos da água na interface solo/planta.



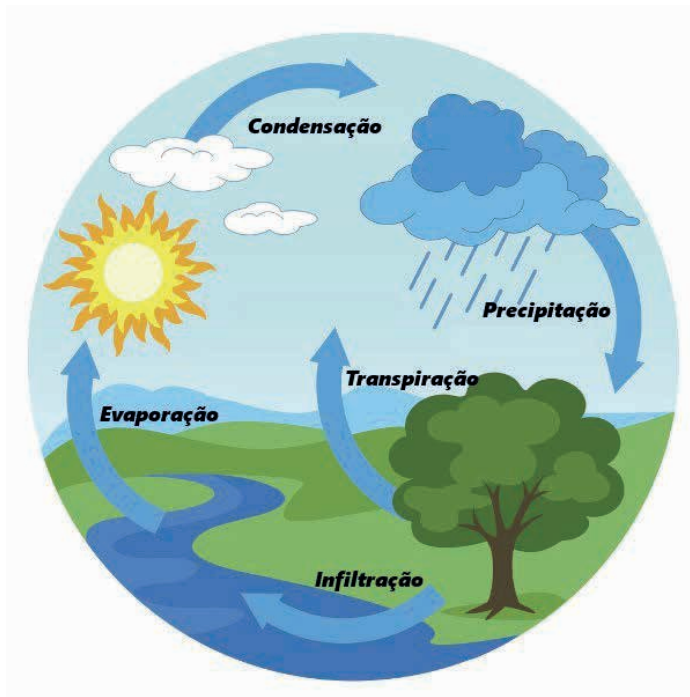
Fonte: Scopel, 2023.

3.5 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico, também conhecido como ciclo da água, é um processo natural que descreve a circulação da água na Terra, incluindo sua evaporação da superfície da Terra, condensação na atmosfera, precipitação de volta à superfície e a subsequente coleta em rios, lagos e oceanos.

Este conceito (Figura 3.6) está associado ao movimento e à troca de água em seus diferentes estados físicos, que ocorrem na Hidrosfera, entre os oceanos, as calotas de gelo, as águas superficiais, as águas subterrâneas e a atmosfera. Esse movimento contínuo é impulsionado pelo Sol, que fornece a energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação), e pela gravidade, que faz com que a água condensada caia de volta à superfície (precipitação) (Carvalho; Silva, 2006).

Figura 3.6 – Ciclo da água na natureza.



Fonte: Santos (2023).

TESTE SEU CONHECIMENTO ©

- 1) Qual das opções a seguir é considerada uma característica morfológica do solo?
 - a) pH do solo
 - b) Capacidade de troca catiônica
 - c) Cor do solo
 - d) Teor de matéria orgânica

- 2) O que é o horizonte O do solo?
 - a) Camada rica em minerais lixiviados
 - b) Horizonte orgânico composto por material em decomposição
 - c) Camada de acumulação de argila
 - d) Horizonte de rocha matriz

- 3) Qual dos seguintes elementos confere coloração vermelha aos solos?
- a) Quartzo
 - b) Matéria orgânica
 - c) Hematita
 - d) Goethita
- 4) A cor amarela no solo geralmente está associada à presença de qual mineral?
- a) Hematita
 - b) Goethita
 - c) Magnetita
 - d) Carbonato de cálcio
- 5) O que indica uma coloração escura no solo?
- a) Alta quantidade de argila
 - b) Presença significativa de matéria orgânica
 - c) Baixa fertilidade
 - d) Elevado teor de quartzo
- 6) Em qual horizonte do solo é comum encontrar a maior parte das raízes das plantas?
- a) Horizonte A
 - b) Horizonte B
 - c) Horizonte C
 - d) Horizonte R
- 7) O que representa a capacidade de campo de um solo?
- a) A quantidade de nutrientes que o solo pode fornecer às plantas.
 - b) A quantidade de água que o solo pode reter após a drenagem.
 - c) A resistência do solo à erosão.
 - d) A capacidade do solo de suportar peso sem compactação.

8) Qual é a camada que contém fragmentos de rocha e material não intemperizado?

- a) Horizonte O
- b) Horizonte A
- c) Horizonte B
- d) Horizonte C

9) Qual é a importância do perfil de solo para a agricultura e estudos ambientais?

- a) Ajuda a determinar a profundidade da rocha matriz.
- b) Permite a descrição e classificação das propriedades químicas e biológicas do solo em diferentes profundidades.
- c) Identifica apenas a coloração superficial do solo.
- d) Serve para determinar a quantidade de matéria orgânica na rocha matriz.

10) Considerando um solo com alto teor de argila e presença de óxidos de ferro, qual das afirmações abaixo é correta sobre a retenção de água e aeração?

- a) Solos com alto teor de argila têm alta retenção de água, mas baixa aeração.
- b) Solos argilosos apresentam baixa retenção de água e alta aeração.
- c) A presença de óxidos de ferro reduz a capacidade de retenção de água em solos argilosos.
- d) Solos com alto teor de argila e óxidos de ferro têm alta aeração, mas baixa capacidade de retenção de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. A.; ALBUQUERQUE, J. A. Ciência do solo. Lages: Udesc, 2007.

AMARAL, G. **Compactação do solo em lavouras cafeeiras:** causas e efeitos no desenvolvimento das plantas. Causas e efeitos no desenvolvimento das plantas. 2021. Disponível em: <https://icl-growingsolutions.com/pt-br/agriculture/knowledge-hub/soil-compaction-coffee-plantations/>. Acesso em: 14 out. 2023.

BRADY, N. C.; WEIL, R. **The Nature and Properties of Soils**. 15. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2016. 1104 p.

CARVALHO, D. F. de.; SILVA, L. D. B. Hidrologia. Seropédica: UFRRJ, 2006.

CAPECHE, C. L. Noções sobre tipos de estrutura do solo e sua importância para o manejo conservacionista. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 6. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 51). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPS-2009-09/14002/1/comtec51_2008_nocoos_estrutura_solo.pdf Acesso em: 20 de jan. 2024.

CENTENO, L. N. *et al.* Textura do Solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 31-37, 30 out. 2017.

COOPER, M. **Porosidade Do Solo**. Piracicaba, 2019. Color. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/793754/mod_resource/content/1/Aula%203%20Estrutura%20e%20Agrega%C3%A7%C3%A3o%20do%20Solo.pdf. Acesso em: 9 ago. 2021.

DANTAS, D. *et al.* Temperatura do ar e do solo em diferentes profundidades, em Diamantina - MG. **Caderno de Ciências Agrárias**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 61-66, dez. 2017.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; PEREIRA, A. B. Balanço de radiação e fluxo calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. **Bragantia**, v. 60, p. 139-147, 2001.

GUIARRARA, P. "Solo"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/o-solo.htm>. Acesso em 07 de outubro de 2023.

HARPSTEAD, M. *et al.* **Soil Science Simplified**. Ames: The Iowa State University Press, 1997. 388 p.

HE, Y. *et al.* A modelling approach to evaluate the long-term effect of soil texture on spring wheat productivity under a rain-fed condition. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 1-10, 30 jul. 2014.

HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**: fundamentals, applications, and environmental considerations. San Diego: Academic Press, 1998. 800 p.

HILLEL, D. **Fundamentals of Soil Physics**. Massachusetts: Academic Press, 1980. 413 p

HILLEL, D. **Soil and water**: physical principles and processes. 3. ed. Nova Iorque: Academic Press, 1972. 288 p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 335 p.

LIMA, V. C.; MELO, V. F. Perfil do solo e seus Horizontes. In: LIMA, V. C. *et al* (ed.). **O Solo no meio ambiente**: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola - UFPR, 2007. Cap. 2. p. 1-141.

PEREIRA, M. G. *et al.* Formação e caracterização de solos. In: TULLIO, L. (Org.). **Crescimento inicial de milho, soja e feijão e atributos físicos de um Nitossolo Bruno em resposta a diferentes graus de compactação** Formação, classificação e cartografia dos solos. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. cap. 1, p. 1-20.

QUOOS, J. H. **Gerador de Triângulo Textural**. 2016. Disponível em: <http://www.quoos.com.br/index.php/geografia/solos/4-triangulo-textural-solos-argila-areia-silte>. Acesso em: 14 out. 2023.

REICHARDT, K. **A água na produção agrícola**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 119 p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Água e sustentabilidade no sistema solo-planta-atmosfera**. Barueri: Manole, 2016. 228 p.

SANTOS, V. S. dos. **Ciclo da água**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/ciclo-agua.htm>. Acesso em: 14 nov. 2023.

SCOPEL, E. S. **Crescimento inicial de milho, soja e feijão e atributos físicos de um Nitossolo Bruno em resposta a diferentes graus de compactação**. 2023. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2023.