

CIÊNCIAS DO SOLO E FERTILIDADE

Ronei Tiago Stein



SOLUÇÕES
EDUCACIONAIS
INTEGRADAS



Dinâmica de micronutrientes no solo

Objetivos de aprendizagem

Ao final deste texto, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Reconhecer os micronutrientes e a sua divisão.
- Identificar a dinâmica dos micronutrientes no solo.
- Relacionar os fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo.

Introdução

Nos solos, são encontrados diferentes nutrientes, que são classificados em dois grupos: os macronutrientes e os micronutrientes. Mesmo que estejam presentes em menor quantidade nos solos, os micronutrientes são responsáveis pela fixação simbiótica do nitrogênio nas plantas. Quando faltam micronutrientes no solo, há uma redução da síntese da enzima nitrogenase, diminuindo a fixação biológica do nitrogênio.

Neste capítulo, você vai estudar os micronutrientes, e vai conhecer a dinâmica deles no solo. Por fim, você vai ver os principais fatores que afetam a disponibilidade dos micronutrientes no solo.

Nutrientes do solo

Antes de conhecer melhor os micronutrientes, você deve entender o termo “solo”. Ele se refere, neste capítulo, à camada externa e agricultável da superfície terrestre. De acordo com Reichardt e Timm (2012), o solo é oriundo da ação de processos físicos, químicos e biológicos de desintegração, decomposição e recombinação. Ele se transformou, no decorrer das eras geológicas, em um material poroso e com características peculiares.

De acordo com a ABNT NBR 6502/1995 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o solo é um material proveniente da decomposição das

rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não ter matéria orgânica. Ele também pode ser definido simplesmente como o produto da decomposição e da desintegração da rocha pela ação de agentes atmosféricos.

Todo processo de formação do solo começa com a desagregação e a decomposição de rochas — fenômeno conhecido como **intemperismo**. Em contato com a atmosfera, as rochas têm sua composição química e suas características físicas alteradas pela ação do calor do sol, da água das chuvas, dos ventos e de outros fatores ambientais. Em outras palavras, as rochas sofrem intemperismos físicos e químicos.



Saiba mais

Intemperismo (também conhecido como meteorização) é o nome atribuído ao processo de transformação e desgaste das rochas e dos solos. Essa transformação pode ocorrer por processos químicos (decomposição), físicos (desagregação) e biológicos. Sua dinâmica acontece por meio da ação dos chamados agentes exógenos ou externos de transformação de relevo, como a água, o vento, a temperatura e os próprios seres vivos.

É fundamental que o meio nutritivo apresente sais minerais, macronutrientes e micronutrientes, os quais são adquiridos pelas plantas. Os elementos como carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H) são adquiridos a partir do CO₂ atmosférico e da água presente no solo. Depois de adquiridos, são incorporados pelas plantas por meio da fotossíntese. Esses três elementos fazem parte de praticamente todas as moléculas orgânicas dos vegetais e são responsáveis por cerca de 94 a 97% do peso seco de uma planta (SANTOS, 2004).

Santos (2004) menciona ainda que os demais 6 a 3% do peso seco de uma planta são compostos por demais minerais. Alguns desses minerais estão presentes em maiores proporções do que outros. Essas proporções dividem os nutrientes minerais em duas categorias:

- macronutrientes ou nutrientes necessários em grandes quantidades;
- micronutrientes ou nutrientes necessários em pequenas quantidades.



Saiba mais

Um vegetal não se desenvolve normalmente se não obtiver os nutrientes que são necessários para o seu crescimento. A seguir, você pode ver como tais nutrientes são divididos.

- **Macronutrientes:** nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), enxofre (S), carbono e hidrogênio são os principais. Eles fazem parte de moléculas essenciais, sendo necessários em maiores quantidades, tendo a função estrutural.
- **Micronutrientes:** incluem cloro (Cl), ferro (Fe), boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), molibdênio (Mo), níquel (Ni), entre outros. Fazem parte das enzimas e têm função reguladora, sendo necessários em quantidades menores.

Micronutrientes e sua divisão

Os micronutrientes, também chamados de oligoelementos, são exigidos pelas plantas em níveis de uma ou mais ordens de magnitude, menores do que os macronutrientes (BRADY; WEIL, 2014). A legislação brasileira classifica os seguintes elementos como micronutrientes: boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco, cobalto (Co), silício (Si) e níquel. Eles são expressos nas análises foliares em mg/kg, e nas análises de solo, em mg/dm³.

De acordo com Brady (1983), os micronutrientes estão associados a certos processos essenciais às plantas, como a influência mediante certos sistemas de enzimas. Por exemplo, cobre, ferro e molibdênio têm capacidade para agir como “portadores de elétrons” no sistema enzimático que produz as reações de oxidação e redução nos vegetais. Aparentemente, tais reações, essenciais ao desenvolvimento e à reprodução dos vegetais, não sobrevivem na ausência desses micronutrientes. Zinco e manganês também funcionam no sistema de enzimas necessário para as importantes reações do metabolismo vegetal.

Santos (2004) menciona que o ferro faz parte de enzimas relacionadas com os processos de oxidação e redução e de enzimas responsáveis pela síntese da clorofila. O molibdênio é cofator da enzima nitrato redutase. O boro é fundamental para processos de divisão e alongamento celular. Já o manganês, o cobre, o cloro e o níquel estão envolvidos na regulação da atividade de várias enzimas.

No Quadro 1, você pode ver um resumo das principais funções dos diferentes micronutrientes nos vegetais.

Quadro 1. Funções de alguns dos micronutrientes encontrados nos solos

Micronutriente	Função
Zinco (Zn)	Formulação do crescimento hormonal, promoção da síntese proteica, maturação e produção das sementes e dos grãos.
Ferro (Fe)	Síntese da clorofila, oxidação e redução na respiração, componente de algumas enzimas e proteínas.
Cobre (Cu)	Ação catalisadora na respiração, componente enzimático, síntese da clorofila, metabolismo dos carboidratos e das proteínas.
Boro (B)	Síntese das proteínas, metabolismo do nitrogênio e dos carboidratos, desenvolvimento do sistema radicular, formação dos frutos e das sementes e relações com a água.
Manganês (Mn)	Metabolismo do nitrogênio e dos ácidos inorgânicos, assimilação do bióxido de carbono (fotossíntese), desintegração dos carboidratos, formação do caroteno, da riboflavina e do ácido ascórbico.
Molibdênio (Mo)	Fixação simbiótica do nitrogênio e síntese da proteína.

Fonte: Adaptado de Brady (1983, p. 509).

Caso haja deficiência ou níveis muito elevados de micronutrientes no solo (denominados **níveis de toxicidade**), as plantas apresentam diferentes sinais. Na Figura 1, veja um resumo de alguns sinais de deficiência dos micronutrientes.

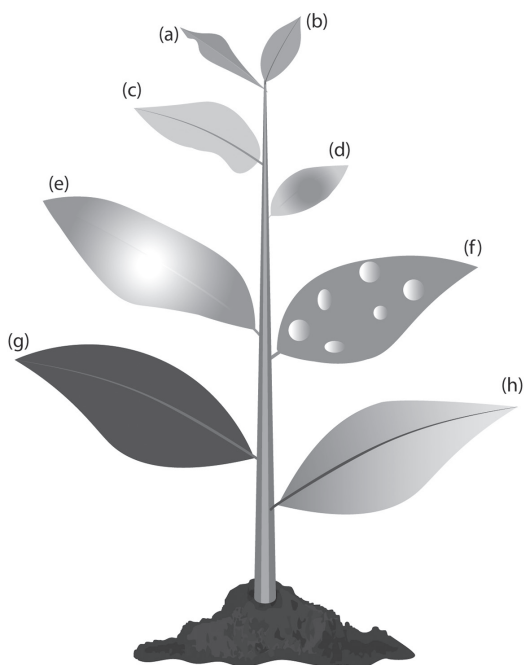


Figura 1. Alguns dos principais sinais que as plantas apresentam quando ocorre deficiência ou toxicidade nutritiva nos solos. (a) Cálcio: folhas novas com má formação ou sem crescimento. Folhas existentes mantêm a cor verde. (b) Ferro: folhas novas em tons amarelados/brancos, com veios verdes. Folhas maduras com aparência normal. (c) Nitrogênio: folhas superiores com cor verde-claro. Folhas inferiores amareladas. Folhas antigas amareladas e repicadas. (d) Potássio: bordas e pontas amareladas, especialmente em folhas mais novas. Pontos amarelados ou mortos aparecem nas folhas. (e) CO_2 : manchas brancas nas folhas. Crescimento atrofiado. Plantas morrendo. (f) Manganês: pontos amarelos e/ou buracos nas folhas entre os veios. (g) Fósforo: folhas mais escuras do que o normal. Perda de folhas. (h) Magnésio: folhas mais baixas ficando amareladas de fora para dentro. Os veios das folhas permanecem verdes.

Fonte: Adaptada de DRogatnev/Shutterstock.com e Vany e PabloBOLivera (2009, documento on-line).

Na medida em que ocorrem a decomposição mineral e a formação do solo, as formas minerais dos micronutrientes se modificam, da mesma forma que os macronutrientes. Formam-se óxidos e, em alguns casos, sulfetos de certos elementos, como o ferro, o manganês e o zinco. A seguir, no Quadro 2, você pode ver as principais fontes naturais dos oito micronutrientes.

Quadro 2. Principais fontes naturais de alguns dos micronutrientes

Elemento	Formas principais na natureza
Ferro	Óxidos, sulfetos e silicatos
Manganês	Óxidos, silicatos e carbonatos
Zinco	Sulfetos, óxidos e silicatos
Cobre	Sulfetos, carbonatos óxido-hidratados
Boro	Borossilicatos, boratos
Molibdênio	Sulfetos, molibdatos
Cloro	Cloretos
Cobalto	Silicatos

Fonte: Adaptado de Brady (1983, p. 511).



Link

Mesmo que os micronutrientes estejam presentes em menor quantidade nos solos, eles têm a mesma importância do que o macronutrientes para o crescimento das plantas. Para ler mais sobre micronutrientes, acesse o link a seguir.

<https://goo.gl/s9s6L9>

Dinâmica dos micronutrientes do solo

O conhecimento da ocorrência, da reação e do movimento no solo é muito importante para se analisar o comportamento dos micronutrientes no sistema solo-planta. As formas químicas dos micronutrientes são modificadas à medida que o solo vai se formando, e os seus minerais, se intemperizando.

Óxidos e, em alguns casos, sulfetos de elementos como ferro, manganês e zinco podem ser formados. Os silicatos secundários, incluindo os minerais das argilas, podem conter elevados teores de ferro e manganês, além de pequenas quantidades de zinco e cobalto. As rochas ultramáficas são ricas em níquel. Os micronutrientes catiônicos liberados pelo intemperismo estão sujeitos à adsorção coloidal, assim como os íons de cálcio ou alumínio. Os ânions do solo, como o borato e o molibdato, podem ser adsorvidos ou sofrer reações semelhantes às dos fosfatos.

Compreender os mecanismos de contato íon-raiz e o comportamento dos micronutrientes no solo é necessário para se manejar corretamente as práticas de adubação. A absorção dos micronutrientes pelas plantas pode ocorrer por:

- fluxo de massa — B, Mo, Cl;
- interceptação radicular — Fe e Mn;
- difusão — Fe, Cu, Mn, Zn, Ni.

A quantidade e a disponibilidade de micronutrientes para as plantas dependem muito da mineralogia das rochas que dão origem aos solos. Há uma grande correlação entre o teor de argila e o conteúdo de micronutrientes (SENGIK, 2003). Solos com baixos teores de argila, ácidos e com baixo teor de matéria orgânica são potencialmente deficientes em micronutrientes.

Segundo Brady e Weil (2014), quando um nutriente está presente em níveis muito baixos, o crescimento das plantas pode ser restringido devido a esse fornecimento insuficiente (nível de deficiência). Assim que o nível de nutrientes é aumentado, as plantas respondem, absorvendo mais do nutriente e aumentando seu crescimento. Como exemplo, considere um deserto. Por apresentar menor quantidade de nutrientes no solo, o deserto tem uma vegetação mais pobre em comparação à floresta Amazônica, por exemplo (Figura 2). Obviamente, os índices pluviométricos interferem diretamente nesse aspecto.

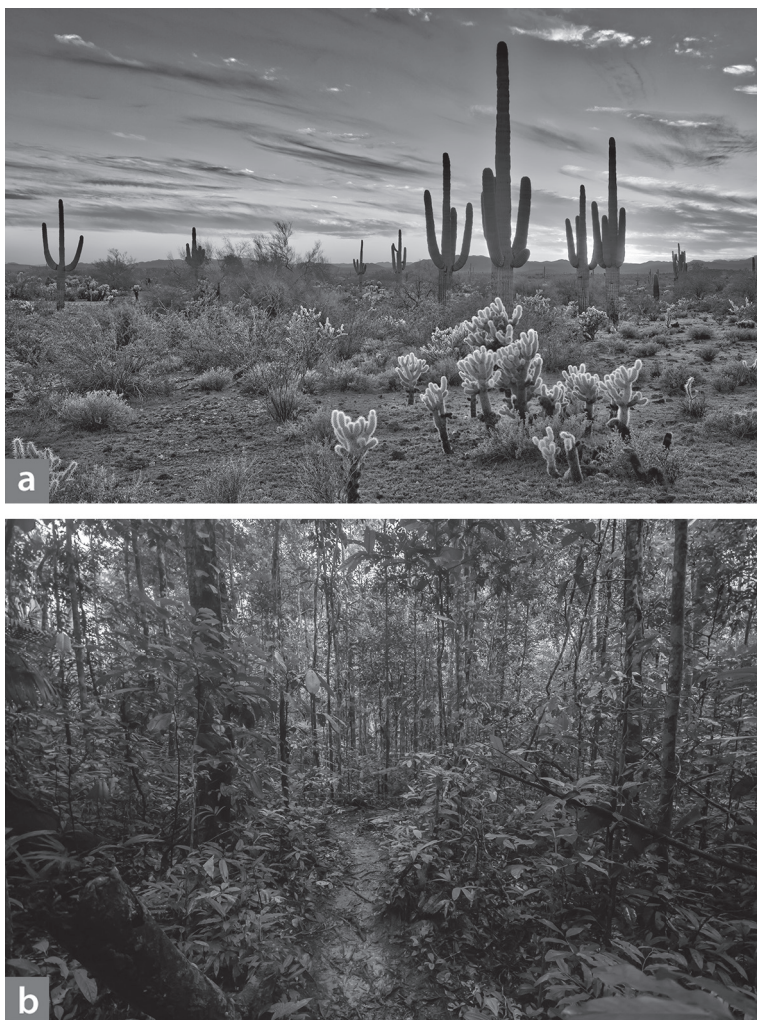
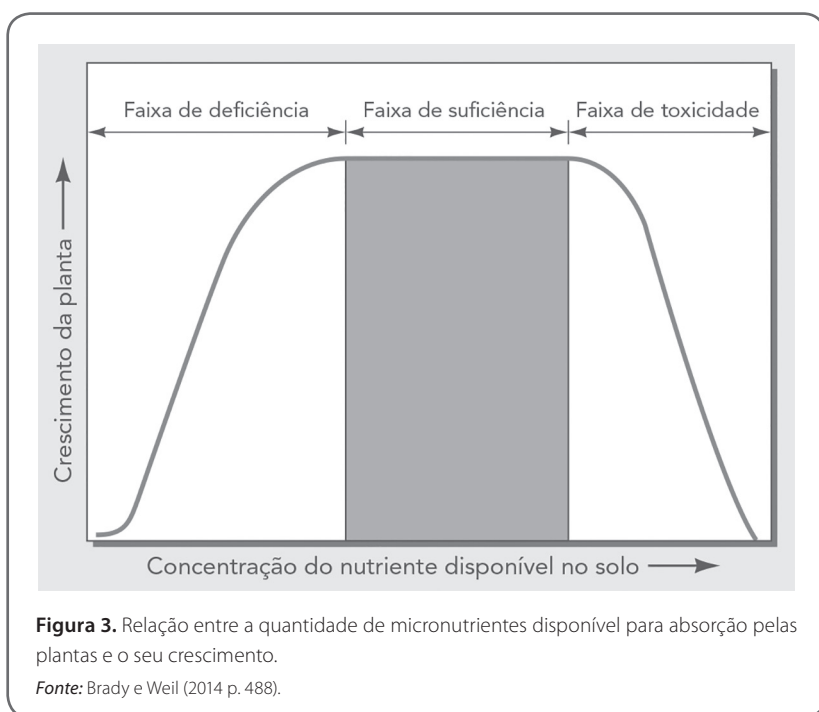


Figura 2. Solos pobres em nutrientes apresentam uma vegetação mais pobre e escassa em relação a solos com nutrientes mais ricos.

Fonte: Adaptada de Anton Foltin/Shutterstock.com e Fotos593/Shutterstock.com.

Quando o nutriente atinge um nível de disponibilidade suficiente para atender às necessidades das plantas (nível de suficiência), um maior acréscimo desse nível terá pouco efeito no crescimento dos vegetais, embora sua concentração possa continuar aumentando no tecido vegetal. Em algum nível de disponibilidade, a planta vai absorver muito do nutriente para o seu próprio desenvolvimento (intervalo de toxicidade), causando, em vez disso, reações fisiológicas adversas (BRADY, 1983; BRADY; WEIL, 2014). Na Figura 3, veja a relação entre a quantidade de micronutrientes disponível para absorção pelas plantas e o seu crescimento.



Para os macronutrientes, a faixa de suficiência é muito ampla e a toxicidade raramente ocorre. Porém, para os micronutrientes, a faixa entre os níveis deficientes e tóxicos pode ser estreita, tornando bastante real a possibilidade de toxicidades.

Fatores que afetam os micronutrientes

Antes de conhecer melhor os fatores que afetam os micronutrientes nos solos, você deve ter em mente que os micronutrientes se dividem em dois grupos distintos, de acordo com Sengik (2003). Veja a seguir.

1. **Catiônicos:** são representados por cobre, ferro, manganês, níquel e zinco. Eles são de natureza metálica, estando presentes nos solos e substratos na forma de óxidos, hidróxidos e sais, sendo insolúveis em valores altos de pH. São elementos químicos com densidade acima de 5 kg/dm^3 , por isso são considerados metais pesados.
2. **Aniônicos:** são representados por boro, cloro e molibdênio. São não metais, com exceção do molibdênio, que é um metal de transição.

O ferro, o manganês, o zinco, o cobre e o níquel (micronutrientes catiônicos) são influenciados de forma diferente pelo ambiente do solo. Entre os principais fatores, pode-se citar, de acordo com Brady e Weil (2014), os listados a seguir.

- **pH:** em valores de pH baixos, a solubilidade dos micronutrientes catiônicos é alta e, à medida que o pH aumenta, a solubilidade e a disponibilidade diminuem para as plantas. Quando o pH se eleva, a forma iônica dos micronutrientes catiônicos é alterada, primeiro para íons hidróxi e, finalmente, para os oxi-hidróxidos ou óxidos insolúveis. A calagem excessiva de um solo ácido frequentemente leva a deficiências de ferro, manganês, zinco, cobre e, às vezes, boro.
- **Matéria orgânica:** a decomposição microbiana dos resíduos vegetais orgânicos e de esterco animais pode resultar na liberação de micronutrientes — pelos mesmos mecanismos que permitem a liberação dos macronutrientes. Os produtos orgânicos, ricos em micronutrientes, têm sido utilizados como fonte de nutrientes em solos deficientes nesses elementos (Figura 4). Por exemplo, compostos de materiais orgânicos como os subprodutos florestais (turfa, esterco animal e resíduos vegetais), enriquecidos com ferro, têm sido considerados eficazes em solos com deficiência de ferro.



Figura 4. Muitas vezes, a adubação do solo é feita de forma artificial, principalmente em solos agrícolas, por meio da deposição de resíduos vegetais orgânicos ou esterco.

Fonte: Adaptada de MR. KHATAWUT/Shutterstock.com e ALLCOOL/Shutterstock.com.

- **Estado de oxidação:** a interação da acidez do solo e da aeração na determinação da disponibilidade de micronutrientes é de grande importância prática. O ferro, o manganês e o cobre são geralmente mais disponíveis em condições de drenagem limitada ou em solos alagados. Já os solos muito ácidos que são mal drenados podem fornecer quantidades tóxicas de ferro e manganês.

Os micronutrientes aniônicos (cloro, molibdênio e boro) são bastante diferentes quimicamente, por isso poucas generalizações podem ser feitas sobre suas reações no solo (BRADY; WEIL, 2014). No caso do cloro, as condições naturais do solo que reduzem a disponibilidade e a utilização desse elemento não são conhecidas. Adições de cloro proveniente da atmosfera, além dos sais de adubos, como o cloreto de potássio, são suficientes para atender às necessidades da maioria das culturas.

A disponibilidade do boro está relacionada ao pH do solo, sendo maior em solos ácidos. Embora esteja mais disponível em condições de pH baixo, ele também é facilmente lixiviado em solos ácidos e arenosos. Portanto, a sua deficiência em solos ácidos e arenosos normalmente ocorre devido à baixa oferta de boro total, não devido à baixa disponibilidade do elemento.



Fique atento

O boro também é um componente da matéria orgânica do solo que pode ser liberado pela mineralização microbiana. Consequentemente, a matéria orgânica serve como uma importante reserva de boro em muitos solos e exerce um controle considerável sobre a disponibilidade desse nutriente (BRADY; WEIL, 2014).

Por fim, há o molibdênio. O pH do solo é o fator mais importante desse elemento, pois influencia a absorção e a disponibilidade dele para as plantas. Em valores de pH baixo, o molibdênio é adsorvido pelas argilas silicatadas e, principalmente, por óxidos de ferro e de alumínio por meio da troca e da retenção com íons oxi-hidróxidos na superfície das partículas coloidais. A calagem de solos ácidos normalmente aumenta a disponibilidade de molibdênio.

A influência do homem na quantidade de micronutrientes nos solos

O desenvolvimento tecnológico industrial, a busca desenfreada de riquezas naturais e a falta de planejamento para a recuperação do meio ambiente trazem diversas consequências negativas. É o caso das grandes catástrofes naturais, de terríveis enchentes e do aquecimento global (BARSANO; BARBOSA; VIANA et al, 2014). Assim, o homem vem afetando negativamente a qualidade dos solos. De acordo com Santos e Daibert (2014), a poluição do solo ocorre devido à contaminação por substâncias capazes de provocar alterações significativas em sua estrutura natural.

Abiko e Moraes (2009) afirmam que a poluição do solo ocorre basicamente de duas formas: atividades humanas que provocam alterações em suas características e lançamento de efluentes. Entre essas fontes de poluição, você pode considerar:

- aplicação de agentes químicos;
- presença de dejetos oriundos de animais;
- despejos de resíduos sólidos;
- lançamento de efluentes domésticos ou industriais;
- atividades que possam resultar na erosão do solo.

Quando um contaminante é aplicado no solo, pode ocorrer a retenção desse composto na matriz coloidal ou mesmo na solução do solo. Assim, o solo fica sujeito aos processos físicos, químicos, físico-químicos e biológicos de degradação. A dinâmica dessa substância tóxica com o solo depende de inúmeros fatores, como as características específicas do contaminante e também as do solo.

Por exemplo, solos argilosos, com granulometria fina e, portanto, com menores espaços entre os grãos do solo, tendem a ter maior capacidade de retenção de elementos pesados e a apresentar elevados níveis de contaminação. Da mesma forma, a composição do poluente interfere diretamente nas interações com as partículas orgânicas e inorgânicas do solo. Nesse sentido, processos distintos podem estar envolvidos.



Referências

ABIKO, A.; MORAES, O. B. *Desenvolvimento urbano sustentável*. São Paulo: Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6502/1995. Rochas e Solos. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

BARSANO, P. R.; BARBOSA, R. P.; VIANA, V. J. *Poluição ambiental e saúde pública*. São Paulo: Érica, 2014.

BRADY, N. C. *Natureza e propriedades dos solos*. 6. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *Elementos da natureza e propriedades do solo*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. *Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações*. 2. ed. Barueri: Manole, 2012.

SANTOS, D. M. M. *Nutrição mineral*. 2004. Disponível em: <http://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/biologia/DURVALINAMARIAM.DOSSANTOS/TEXTO_03.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2019.

SANTOS, P. R. C.; DAIBERT, J. D. *Análise dos solos: formação, classificação e conservação do meio ambiente*. São Paulo: Érica, 2014.

SENGIK, E. S. *Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas*. 2003. Disponível em: <<http://www.nupel.uem.br/nutrientes-2003.pdf>>. Acesso em: 5 fev. 2019.

VANY E PABLOBOLIVEIRA. *Sinais de deficiência nutritiva das plantas*. 2009. Disponível em: <<http://aquapeixes.forumeiros.com/t479-sinais-de-deficiencia-nutritiva-das-plantas>>. Acesso em: 5 fev. 2019.

Leituras recomendadas

CARVALHO, M. C. S. *Micronutrientes*. [2010?]. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_20_237200483743.html>. Acesso em: 5 fev. 2019.

PREVEDELLO, C. L.; ARMINDO, R. A. *Física do solo: com problemas resolvidos*. 2. ed. Curitiba: [s.n.], 2015.

RESENDE, M. et al. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa: NEPUT, 2002.

Encerra aqui o trecho do livro disponibilizado para esta Unidade de Aprendizagem. Na Biblioteca Virtual da Instituição, você encontra a obra na íntegra.

Conteúdo:



SOLUÇÕES
EDUCACIONAIS
INTEGRADAS