

Ciência do Solo: Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas

Carolina Belei Saldanha

Eduardo Bucsan Emrich

Elaine Nathalie Melo Negrão

Guilherme Adalberto Ferreira Castioni

© 2016 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente

Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação e de Educação Básica

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Alberto S. Santana

Ana Lucia Jankovic Barduchi

Camila Cardoso Rotella

Cristiane Lisandra Danna

Danielly Nunes Andrade Noé

Emanuel Santana

Grasiele Aparecida Lourenço

Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Paulo Heraldo Costa do Valle

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Isabella Alice Gotti

Editorial

Adilson Braga Fontes

André Augusto de Andrade Ramos

Cristiane Lisandra Danna

Diogo Ribeiro Garcia

Emanuel Santana

Erick Silva Griep

Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Saldanha, Carolina Belei

S162c Ciência do solo: fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas / Carolina Belei Saldanha, Eduardo Bucsan Emrich, Elaine Nathalie Melo Negrão, Guilherme Adalberto Ferreira Castioni. – Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2016. 192 p.

ISBN 978-85-8482-701-5

1. Solos – Manejo. 2. Plantas – Nutrição. I. Emrich, Eduardo Bucsan. II. Negrão, Elaine Nathalie Melo. III. Castioni, Guilherme Adalberto Ferreira. IV. Título.

CDD 631.4

2016

Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza

CEP: 86041-100 — Londrina — PR

e-mail: editora.educacional@kroton.com.br

Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

Sumário

Unidade 1

Exigências nutricionais, funções dos nutrientes e dos elementos benéficos.....	7
Seção 1.1	
Conceitos em nutrição de plantas	9
Seção 1.2	
Nutrientes e critérios de essencialidade.....	20
Seção 1.3	
Macro e micronutrientes	30
Seção 1.4	
Elementos benéficos.....	40

Unidade 2

Absorção iônica de nutrientes	51
Seção 2.1	
Absorção iônica radicular	53
Seção 2.2	
Fatores que afetam a absorção radicular	62
Seção 2.3	
Absorção iônica foliar e fatores que afetam o processo.....	71
Seção 2.4	
Dinâmica dos macros e micronutrientes no solo.....	80

Unidade 3

Métodos para avaliar a fertilidade do solo e o estado nutricional de plantas	93
Seção 3.1	
Diagnose visual e foliar: métodos de extração e análise química	95
Seção 3.2	
Amostragem de solo.....	107
Seção 3.3	
A análise de solo como instrumento de avaliação da fertilidade	117
Seção 3.4	
Adubação e calagem.....	128

Unidade 4

Características dos fertilizantes minerais e orgânicos.....	143
Seção 4.1	
Classificação dos fertilizantes	145
Seção 4.2	
Caracterização dos fertilizantes minerais.....	155
Seção 4.3	
Caracterização dos fertilizantes orgânicos.....	165
Seção 4.4	
Espectrofotometria.....	175

Palavras do autor

Olá, aluno! A agricultura é uma das atividades de maior importância no contexto socioeconômico mundial. Sem a alta performance da produção agrícola, a necessidade humana por alimentos e seus subprodutos seria uma grande problemática, principalmente por afetar a subsistência da população mundial. Para alcançar uma produtividade desejável, vários fatores relevantes precisam ser considerados e analisados para que seus efeitos positivos ou negativos sejam conhecidos e, assim, ações agronômicas sejam planejadas.

Você já pensou que assim como nós, as plantas também precisam de uma quantidade de nutrientes específica que possibilite seu desenvolvimento com suas necessidades supridas adequadamente? O nosso estudo será justamente sobre isso: a fertilidade do solo e a nutrição mineral de plantas. Você aprenderá como os nutrientes influenciam no desenvolvimento do vegetal, de que forma eles são absorvidos e qual a sua importância. Em relação à fertilidade do solo, você aprenderá como as suas correções podem suprir algumas deficiências nutricionais. A competência geral que espera-se que você adquira está em conhecer os fundamentos de química de solos e a nutrição mineral de plantas, com ênfase no uso sustentável de recursos naturais e conservação do solo e da água. Entre as competências técnicas que você irá desenvolver está conhecer e ser capaz de analisar os principais nutrientes importantes para o desenvolvimento das plantas; utilizar os métodos de avaliação de fertilidade do solo e o estado nutricional de plantas, além das reações no solo de absorção e troca iônica e, ainda, conhecer os princípios do equilíbrio químico e saber utilizar o espectrofotometria.

Para você compreender os assuntos de forma sequencial, a disciplina está dividida em quatro unidades. A primeira abordará as exigências nutricionais dos vegetais, as funções dos nutrientes e os elementos benéficos às plantas. Na segunda, você estudará principalmente sobre absorção iônica de nutrientes. Na terceira, aprenderemos como diagnosticar e corrigir as deficiências nutricionais identificadas nas plantas. E, por fim, aprenderemos mais sobre a parte prática da disciplina, estudando assuntos como o equilíbrio químico e a espectrofotometria. Você ainda irá desenvolver três produtos ao

longo da disciplina, que são: relatório sobre fatores abióticos que influenciam na disponibilidade de nutrientes para as plantas (Unidade 2); Laudo técnico sobre a correção e a análise de solo mediante o uso da análise química (Unidade 3) e relatório sobre o uso do espectrofotômetro e interpretação da análise (Unidade 4).

Unidade 1

Exigências nutricionais, funções dos nutrientes e dos elementos benéficos

Convite ao estudo

Olá, aluno! Seja bem-vindo!

O estudo sobre a fertilidade do solo e a nutrição mineral de plantas é um dos temas mais relevantes na agronomia por abordar um dos aspectos de grande influência no desenvolvimento dos vegetais. Para que você possa conhecer os fundamentos da química de solos e nutrição mineral de plantas, com ênfase no uso de sustentável de recursos naturais e conservação do solo e da água, nesta unidade, primeiramente, será apresentada a base da disciplina, que engloba a evolução da nutrição mineral de plantas.

Nas seções seguintes, os estudos serão direcionados ao conhecimento dos principais conceitos referentes aos tipos de nutrientes, à caracterização da essencialidade, além das funções dos elementos essenciais e benéficos. Esse entendimento é de significativa relevância por possibilitar que você, como futuro profissional da agronomia, possa fazer corretas recomendações para distintas culturas vegetais, sabendo relacionar as deficiências nutricionais com as manifestações sintomáticas apresentadas pelos vegetais.

Para você praticar os conhecimentos dos temas que serão estudados e, também, refletir sobre eles, será apresentada a situação hipotética a seguir:

Na propriedade da família de Pedro é observada uma organização caracterizada pela agricultura familiar, onde é predominante a utilização de técnicas simples, porém eficientes, na produção agrícola, que é executada por familiares. O rapaz está aprendendo aos poucos sobre alguns relevantes assuntos relacionados à agricultura por meio da própria vivência diária na propriedade da sua família.

Na área de produção, existe uma variedade de espécies cultivadas de acordo com a época do ano, a qual favorece o melhor desenvolvimento das plantas e, atualmente, o cultivo do milho apresenta-se como a principal fonte de renda da família de Pedro. Ao observar o talhão de milho com crescimento vegetal abaixo do esperado, o jovem verificou que não havia pragas ou sintomas de doenças que estivesse limitando o crescimento do milho, mas o pai de Pedro ressaltou que poderia existir outro fator que estaria ocasionando

isso: a nutrição de plantas.

Dessa forma, Pedro questionou-se: o que é nutrição de plantas? Como ocorre e quais as fontes fornecedoras de nutrientes? Quais os elementos indispensáveis para que a planta se desenvolva adequadamente? E, ainda, esses nutrientes se diferenciam? Quais as suas funções?

Conceitos em nutrição de plantas

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo à primeira seção da Unidade 1!

Conhecer aspectos históricos relacionados a uma ciência é importante para entender como surgiram algumas inovações que proporcionaram evolução nos estudos da nutrição das plantas. Em relação à ciência do solo, os cientistas, ao longo da história, principalmente a partir do século XIX, foram construindo conceitos sobre como os elementos ficam disponíveis no solo para absorção das plantas. Com as descobertas e a evolução das pesquisas, algumas teorias foram negadas, outras surgiram e foram comprovadas.

Neste contexto, iremos conhecer mais sobre a história e a evolução dos conceitos de nutrição de plantas. Serão abordados em ordem cronológica os principais pensadores e suas respectivas ideias sobre como era realizado o processo de absorção de nutrientes e quais eram os elementos responsáveis pela “alimentação” das plantas.

O desenvolvimento das plantas está fortemente ligado aos nutrientes minerais, que possuem importante papel no desempenho das funções metabólicas dos vegetais. A disponibilidade excessiva e a ausência de um elemento podem significar grandes transformações que afetam o ciclo de vida das plantas. Você já imaginou como o homem acreditava que as plantas se nutriam? Iniciando o estudo desta seção, você conhecerá em ordem cronológica os conceitos e as ideias que surgiram a respeito da forma como os pensadores acreditavam que se realizava a nutrição vegetal e como os nutrientes ficavam dispostos nos solos.

Para que você possa refletir e elaborar uma resolução baseada nos seus conhecimentos, apresentamos a seguinte situação-problema: Pedro estava encarregado de relatar os problemas encontrados na área de produção de sua família. Entre uma de suas tarefas, incluía-se saber identificar problemas nos vegetais. Ao analisar e notar que a plantação do milho não estava se desenvolvendo como o esperado, criou a hipótese de que os sintomas seriam decorrentes da nutrição das plantas, assim como seu pai havia sugerido. Entretanto, Pedro tinha alguns desafios para entender a forma que as plantas se alimentam e quais seriam suas fontes de nutrientes. Além disso, o que seria nutrição de plantas e qual a sua importância para as plantas? Como você, futuro profissional das ciências agrárias, responderia aos questionamentos de Pedro?

As primeiras ideias relativas à nutrição das plantas eram bastante diferentes das noções atuais. E, nesta seção, você irá aprender quais eram essas ideias pioneiras. Para isso, serão fornecidas informações de como ocorreu a evolução dos conhecimentos sobre a nutrição vegetal de forma que você compreenda como foram expandidos os conhecimentos nesta área.

Não pode faltar

A agricultura representou um grande marco na história do homem por representar a mudança de seu estilo de vida de nômade para sedentário. A característica de mudar constantemente de local para encontrar melhores condições de sobrevivência estava relacionada fortemente com a sua subsistência, principalmente pela busca de alimentos por extrativismo ou caça de animais. Com o desenvolvimento da atividade agrícola, o homem teve maior disponibilidade de alimentos com maior frequência, o que possibilitou grandes avanços, inclusive contribuiu significativamente para a evolução dos seres humanos, que puderam fixar moradia e ter maior longevidade.

O crescente e significativo aumento populacional aliado à maior exigência da população mundial em consumir alimentos que atendam a uma vertente baseada na nutrição humana adequada e segura, cada vez mais a produção agrícola passa por processos que possibilitem o aumento na produtividade e na qualidade dos alimentos.

A produtividade agrícola está associada a diversos elementos, como a tecnologia aplicada, o manejo adotado, o cultivo de maior produtividade e a resistência a pragas e a doenças, além de uma nutrição que possibilite o desenvolvimento adequado dos vegetais cultivados. A adubação está intensamente interligada à fertilidade do solo e à nutrição de plantas, por ser um dos meios que possibilitam a maior disponibilização de elementos que proporcionam o crescimento adequado dos vegetais de forma que evite a deficiência nutricional das plantas.

A **fertilidade do solo** está relacionada à sua capacidade de fornecer os elementos em quantidade suficiente e assimilável pelas plantas, proporcionando, assim, uma nutrição satisfatória. Os estudos sobre essa temática são relacionados à interação entre os nutrientes e a planta, compreendendo os fatores que limitam a disponibilidade e apresentam como corrigir os excessos e as deficiências dos elementos. Dessa forma, cada nutriente precisa ser estudado para que suas funções sejam definidas e medidas, a fim de proporcionar o adequado desenvolvimento das plantas.



Assimile

A fertilidade do solo pode ser dividida em:

Fertilidade natural: ocorre do processo de formação do solo, a fertilidade é espontânea da própria origem mais as ações do tempo e de organismos.

Fertilidade atual: ocorre posteriormente a ações antrópicas, como o manejo praticado na cultura, correção da acidez, adubação mineral e orgânica.

Fertilidade potencial: ocorre em manifestação a algumas condições específicas, que podem estar ligadas às características do tipo de solo e limitar a disponibilidade de nutrientes das plantas.

Fertilidade operacional: ocorre após a determinação dos teores de nutrientes presentes no solo. A fertilidade operacional nem sempre é a mesma que a natural ou a atual, mas estão correlacionadas.

As plantas são organismos autotróficos que possuem uma importância significativa para a vida no planeta Terra. Primeiramente, é preciso compreender que no processo de nutrição mineral de plantas ocorre a produção, o consumo e o transporte de diferentes substâncias, além de obter água e sais minerais do substrato e utilizar o gás carbônico e água da atmosfera. Esse processo é o resultado da absorção e do uso metabólico dos nutrientes disponíveis no solo e extraídos pelas plantas, que podem ser benéficos ou não ao desenvolvimento do vegetal, já que nutrientes e até elementos tóxicos podem ser absorvidos.



Assimile

Os elementos tóxicos podem prejudicar o desenvolvimento das plantas e até mesmo ser letais, como os metais pesados. Entretanto, ressalta-se que o excesso dos nutrientes também pode causar toxicidade às plantas.

Para que as plantas consigam completar seu ciclo, três nutrientes essenciais são necessários: Carbono (C), Hidrogênio (H) e Oxigênio (O), provenientes do ar atmosférico e da água, que serão estudados mais especificadamente nas próximas seções. Além deles, são importantes mais 13 elementos divididos em macronutrientes: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) e micronutrientes: Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Boro (B), Cloro (Cl) e Molibdênio (Mo).

Primeiramente, os nutrientes minerais são adquiridos na forma de íons inorgânicos majoritariamente pelas raízes das plantas, que possuem uma extensão favorável à busca dos nutrientes, e ainda uma alta capacidade de absorção, o que torna esse processo efetivo, mesmo com baixas concentrações de íons inorgânicos no solo. Esse processo é beneficiado também por agentes como as bactérias fixadoras de nitrogênio e os fungos micorrízicos, que absorvem nutrientes minerais e água do solo, transferindo-os para as raízes. Após a absorção, ocorre o transporte dos íons para diversas partes das plantas, onde são assimilados e possibilitam o bom funcionamento das diversas funções nas plantas. Todo esse conjunto de absorção, transporte, assimilação dos íons é denominado de nutrição mineral de plantas.

É notável que em certos períodos da história da humanidade houve um elevado declínio populacional relacionado à agricultura. Alguns estudos demonstram que o pouco conhecimento do homem sobre as plantas, a existência das pragas e os fatores bióticos e abióticos interferiam no desenvolvimento dos vegetais, comprometendo a produção agrícola e, consequentemente, a vida do homem, já dependente dos produtos advindos da agricultura. Outro importante fator que provoca a diminuição da produção está relacionado à nutrição mineral de plantas.

A nutrição mineral é fundamental para que os vegetais atinjam a produtividade esperada pelos produtores. Relevantes progressos foram atingidos nas últimas décadas, com a maior compreensão dos fenômenos que estão envolvidos na absorção de nutrientes pelas plantas, além do maior entendimento das funções metabólicas das plantas.

Mas, afinal, como se iniciou o conhecimento sobre como os vegetais se alimentavam?



Refleta

Observando que não havia muitos estudos e que as informações obtidas sobre o desenvolvimento dos vegetais eram empíricas, muitos pesquisadores apresentavam teorias distintas sobre o comportamento dos vegetais. Afinal, como os estudiosos acreditavam que ocorria a “alimentação” das plantas anos atrás?

O primeiro registro sobre o conceito da nutrição mineral de plantas é atribuído a **Aristóteles**, que propôs a teoria do húmus ou a teoria humística, na qual acreditava que a planta alimentava-se diretamente de pequenas porções de húmus, utilizando as raízes como se fossem a sua “boca”.



Vocabulário

Húmus: é o produto resultante da decomposição da matéria orgânica de animais e vegetais ou pela produção de minhocas. É um material inerte, composto de 60% de carbono, 6% de nitrogênio, fósforo e enxofre.

É um composto de matéria orgânica em decomposição que serve para nutrir o solo.

Para o filósofo, a água, o ar, a terra e o fogo eram os elementos fundamentais da natureza e constituintes da matéria, assim, eles se combinavam e formavam as substâncias (Teoria dos quatro elementos de Empédocles), por exemplo, a matéria orgânica era absorvida pelos vegetais sem ser modificada.

Naquela época, tinha-se a ideia de que as plantas realizavam o processo invertido dos animais em relação à sua alimentação. Para Aristóteles, as plantas faziam uma pré-digestão no solo, pois as suas “bocas” ficavam no chão. Dessa forma, pensava-se que os alimentos seriam digeridos na terra, pois não apresentavam exceções visíveis, assim como os animais.



Assimile

Assim como os seres humanos precisam ter uma dieta balanceada, que forneça os nutrientes necessários para o bom funcionamento do seu organismo, as plantas também apresentam necessidades nutricionais que precisam ser supridas para possibilitar um desenvolvimento satisfatório do vegetal e, conseqüentemente, a produtividade esperada pelo produtor.

As propostas de Aristóteles perduraram por séculos, porém, por volta de 1600, J. B. van Helmont realizou um experimento com um salgueiro (*Salix babylonica* L.), que visou determinar se a perda de solo estaria relacionada ao consumo da planta. Com o desenvolvimento do seu experimento, após cinco anos a planta desenvolveu-se e ele constatou que a quantidade perdida de solo era pouco significativa, fazendo com que ele concluísse que por ter acrescentado apenas a água, o aumento do peso era devido à sua transmutação para o vegetal. Dessa forma, o belga Helmont propôs que a água era a responsável pelo crescimento da planta associada.

O inglês Woodward (1665–1728) foi um dos estudiosos que desafiou a ideia de J.B. van Helmont. Woodward tentou descobrir se era apenas a água que realmente nutria os vegetais. Assim, desenvolveu um experimento que utilizou água purificada por destilação e água contaminada, como a retirada do rio Tamisa. Dessa forma, ele acreditou que a água com sedimentos

proporcionava maior crescimento dos vegetais do que a água “limpa”, ou seja, ele chegou a uma importante conclusão para a época ao afirmar que o aumento da biomassa era devido à presença de sólidos dissolvidos na água e, assim, o solo e não a água ajudava na alimentação das plantas.

Até então, o solo e a água tinham sido elementos associados ao desenvolvimento dos vegetais, e o papel da atmosfera teve destaque quando Stephen Hales propôs a ideia de que as folhas das plantas retiravam parte do seu alimento do ar, iniciando a compreensão do processo da fotossíntese. Essa ideia foi se fortalecendo por Joseph Priestley, que desenvolveu um estudo colocando plantas sob uma campânula e notou que elas “recuperavam” o ar que tinha sido consumido pela respiração de um rato, entretanto a associação com esse fenômeno não foi associado à presença de luz.

No século XVIII, o botânico alemão Albrecht D. Thaer defendeu a Teoria do húmus, quando destacou a importância da matéria orgânica originada da decomposição de animais ou vegetais, considerando-a como uma força vital para as plantas.

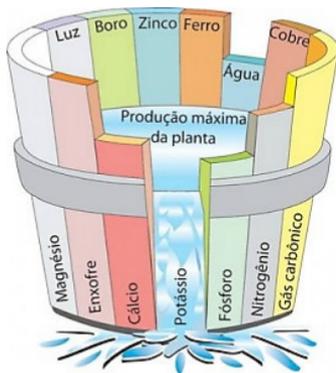
Outro estudioso que também contribuiu significativamente foi Nicholas-Theodore de Saussure ao entender que, além do CO_2 , a água também estava associada ao crescimento dos vegetais. O cientista, em 1804, iria comprovar que boa parte dos nutrientes que os vegetais necessitavam vinha da atmosfera. O carbono era originado do gás carbônico, e do ar a planta extraía oxigênio e o hidrogênio.

Carl S. Sprengel (1787 -1859) fez um esboço do que seria posteriormente conhecida como a “Lei do Mínimo” ao expor que o solo era um substrato favorável ao crescimento do vegetal, entretanto na ausência de algum dos elementos, isso iria influenciar negativamente no seu desenvolvimento.

A importância de saber quais elementos fazem parte das plantas foi ressaltada por Boussingault (1807-1882) e, além disso, era preciso conhecer também o quantitativo de minerais extraídos delas.

Muitos estudiosos apresentaram definições diferenciadas de como as plantas realizavam sua alimentação e, aos poucos, novos elementos foram descobertos e uma maior compreensão foi adquirida. Porém, um deles se destacou por suas descobertas, sendo conhecido como o “pai da nutrição mineral de plantas”, título dado a Justus von Liebig. Entre uma das suas principais contribuições está a “Lei do Mínimo”, ilustrada pelo desenho do barril (Figura 1.1) com as ripas representadas pelos componentes da nutrição das plantas.

Figura 1.1 | Barril que ilustra a Lei do Mínimo



Fonte: <<http://www.comunitexto.com.br/igo-lepsch-fala-sobre-morfologia-do-solo/#Vyo6LIQrLIV>>. Acesso em: 17 maio 2016.



Exemplificando

A Lei do Mínimo estabelece que basta um elemento não ser fornecido de acordo com a necessidade da planta, que o vegetal não terá o desenvolvimento adequado. Isto é, se a planta precisa de 100 mg de fósforo e for fornecido apenas 80 mg, o elemento será considerado um fator limitante para o seu crescimento.

A ilustração do barril demonstra que cada parte da madeira representa um componente importante para o desenvolvimento da planta. Se todas as partes estiverem completas, a água fica retida, representando o suprimento da necessidade da planta para completar seu ciclo de vida. Dessa forma, a Lei do Mínimo expõe que o desenvolvimento do vegetal não se limita apenas aos recursos totais existentes, mas também pela quantidade mínima que o vegetal exige para desempenhar suas funções.

Atualmente, os estudos relativos à nutrição mineral de plantas obtiveram significativas mudanças, tornando a tecnologia como uma de suas aliadas. As descobertas dos estudiosos citados foram imprescindíveis para que a agricultura evoluísse e, conjuntamente, a produção de alimentos. A disponibilidade de adubos quimicamente formulados e orgânicos é resultado dos conceitos formulados ao longo dos séculos.



Faça você mesmo

Atualmente, a nutrição mineral de plantas é um importante tema estudado relacionado à produção agrícola, já que é um dos fatores que mais influencia no favorável desenvolvimento da planta. Mas, afinal, como as plantas se nutrem? Os pensadores que desenvolveram diferentes ideias sobre a alimentação dos vegetais estavam corretos?

Novos desafios surgiram com os avanços na agricultura em relação à nutrição de plantas, por exemplo, evitar o desperdício de nutrientes por meio da lixiviação. Agora, novas medidas devem ser adotadas para aumentar a eficiência de absorção de nutrientes, reduzindo os custos e colaborando para evitar prejuízos ao meio ambiente.

Sem medo de errar

Caro aluno, agora que você conheceu mais alguns dos conceitos fundamentais na nutrição mineral de plantas, está na hora de colocar seu aprendizado em prática! Na situação-problema desta seção: Pedro tinha alguns desafios para entender a forma como as plantas se alimentam e quais seriam as suas fontes de nutrientes. Além disso, o que seria a nutrição de plantas e qual a sua importância para elas? Como você, futuro profissional das ciências agrárias, responderia aos questionamentos de Pedro?



Atenção

Durante o estudo foram apresentadas diferentes percepções de estudiosos sobre como ocorria a nutrição das plantas, de acordo com os experimentos realizados por eles. Algumas teorias foram consideradas uma “primeira etapa” para um entendimento mais completo que descobertas posteriores proporcionaram.

Para que você auxilie Pedro na compreensão do que está sendo observado na área de plantio de milho, primeiramente é preciso que ele entenda os conceitos básicos da nutrição mineral de plantas, iniciando pela própria caracterização dessa temática.



Lembre-se

A nutrição mineral de plantas é uma das ramificações da ciência do solo que estuda os elementos essenciais para que a planta consiga completar seu ciclo de vida, a forma que esses nutrientes são absorvidos, translocados, suas funções e quais as consequências que sua ausência ou excesso pode provocar nas funções das plantas.

Outro importante ponto a ser ressaltado a Pedro é a importância da nutrição mineral de plantas. As plantas, assim como outros organismos, precisam de uma quantidade balanceada de nutrientes que possibilitam seu desenvolvimento adequado, quando ocorre excesso ou ausência de um dos elementos químicos vitais a seu ciclo, não apenas o desenvolvimento do vegetal, mas a sua vida pode ser comprometida. É relevante esse conhecimento, pois no cultivo agrícola a alta produtividade é um dos principais objetivos a serem alcançados e a nutrição mineral de plantas está intensamente interligada a isso.

Para continuar sua explicação a Pedro sobre a nutrição de plantas, é interessante expor a ele quais as principais fontes desses elementos tão importantes ao desenvolvimento vegetal. Assim, exponha que o solo, o ar e a água são as principais fontes de nutrientes e, além disso, explique que 70 a 90% das plantas é constituído de água e o restante de material seco – e cerca de 90% é referente ao carbono, hidrogênio e o oxigênio (provenientes do ar e da água) e o restante dos nutrientes são advindos do solo.

Avançando na prática

A Lei do Mínimo aplicada à nutrição de plantas

Descrição da situação-problema

Em um cultivo de hortaliças de uma pequena propriedade rural, o produtor deixou de praticar algumas medidas, como a análise de nutrientes disponíveis no solo para nutrição de plantas. Anteriormente, o resultado do quantitativo de nutrientes possibilitaria que ele decidisse qual seria o melhor manejo a ser adotado, considerando as necessidades nutricionais da cultura. Entretanto, agora, sem uma análise para saber o teor de nutrientes disponíveis, o produtor, preocupado, questiona se haverá consequências para as plantas. Você, atuando no papel de um agrônomo, deverá explicar as possíveis consequências dessa situação vivenciada pelo produtor.



Lembre-se

A Lei do Mínimo faz parte de um importante conceito inserido na nutrição mineral de plantas que Liebig propôs ao compreender a importância de cada elemento químico que atua na nutrição de plantas. Isso pode ser aplicado a essa situação-problema, considerando a importância da presença dos nutrientes essenciais aos vegetais.

Resolução da situação-problema

Você deverá expor, primeiramente, a importância do conhecimento da nutrição de plantas, associando isso à produtividade e, conseqüentemente, o retorno financeiro que o produtor espera com a comercialização da sua produção. É importante relatar que o conhecimento do quantitativo de nutrientes disponíveis irá proporcionar saber quais e quantos nutrientes a cultura necessita que sejam adicionados para que ela se desenvolva adequadamente.

Para que o produtor compreenda melhor essa necessidade da presença de todos os nutrientes é interessante expor a aplicação do conhecimento da Lei do Mínimo, já que ela estabelece que basta um elemento não ser fornecido de acordo com a necessidade da planta, que o vegetal não terá o desenvolvimento adequado.



Faça você mesmo

Durante a seção foram expostos alguns dos experimentos que proporcionaram grandes descobertas e avanços na nutrição mineral de plantas. Para que você aprenda ainda mais em relação aos conceitos básicos, pesquise sobre experimentos desenvolvidos por estudiosos que contribuíram para que os conhecimentos em nutrição de plantas fossem avançando ao longo dos anos.

Faça valer a pena

1. Conhecer aspectos históricos relacionados a uma ciência é importante para entender como surgiram algumas inovações que proporcionaram evolução nos estudos da nutrição das plantas.

Em relação à ciência do solo, pode-se afirmar que:

- Cientistas ao longo da história foram construindo conceitos sobre como os elementos ficam disponíveis no solo para absorção das plantas.
- A despreocupação com a nutrição das plantas passou a ser tópico de discussão

somente após o início do século XX, antes disso, predominava a agricultura familiar e, para eles, essa informação não era importante.

c) O estudo sobre as plantas começou com Charles Darwin, quando este fez sua jornada ao redor do planeta e escreveu o livro “A origem das espécies”

d) Não é necessário mais o estudo do solo, pois todos os detalhes já foram pesquisados e anotados.

e) O solo é uniforme em toda extensão territorial brasileira, portanto pode ser estudado localmente e aplicado a um todo.

2. O desenvolvimento das plantas está fortemente ligado aos nutrientes minerais que possuem um importante papel no desempenho das funções metabólicas dos vegetais.

Sobre o exposto, é correto afirmar que:

a) As plantas necessitam somente dos nutrientes decorrentes da decomposição de suas folhas que caem no solo, pois assim continuam com a quantidade original de nutrientes.

b) Qualquer tipo de planta se desenvolve em qualquer tipo de solo, depende apenas da quantidade de água que possui no local.

c) Não existe um mínimo de nutrientes que a planta precisa para se desenvolver, pois ela consegue produzir todos os que precisa.

d) Quanto mais adubo for colocado em uma planta, mais nutriente ela absorve e, conseqüentemente, mais desenvolvido será o vegetal.

e) A disponibilidade excessiva e a ausência de um elemento podem significar grandes transformações que afetam o ciclo de vida das plantas.

3. A agricultura representou um grande marco na história do homem por representar sua mudança de nômade para sedentário.

Entre as conseqüências do sedentarismo do homem nessa época, pode-se citar:

a) O aumento dos casos de doença pela falta de diversidade de nutrientes alimentares ao homem.

b) O fim da caça de animais para alimentação, já que ela passaria a ser feita por meio do cultivo de vegetais.

c) O homem teve maior disponibilidade de alimentos com maior frequência e, com isso, teve um aumento da sua longevidade.

d) O início da caça de animais somente para a aquisição de peles para proteção contra o frio, já que agora o homem passou a ser sedentário.

e) A diminuição de sua longevidade devido a uma menor taxa de exercícios físicos praticados pelo homem.

Nutrientes e critérios de essencialidade

Diálogo aberto

Olá, aluno!

Nosso tema desta seção especificará um dos tópicos mais importantes, brevemente apresentado na Seção 1.1: os **nutrientes**. Afinal, a nutrição mineral é completamente dependente desses elementos para proporcionar o desenvolvimento vegetal esperado, principalmente pelo produtor que comercializará a produção.

O estudo dessa seção irá proporcionar que você compreenda o conceito de nutrientes, sua importância e ainda sobre o critério de essencialidade. Para que isso seja observado de forma prática, a situação-problema a seguir irá ajudar na sua reflexão sobre os temas abordados e, assim, conseguir propor uma solução viável.

Pedro fez importantes observações na plantação de milho na qual é responsável, após identificar que o problema de desenvolvimento das plantas estava relacionado à nutrição mineral, o jovem quis se aprofundar no assunto para conseguir compreender qual fator estava interferindo diretamente nisso, para assim ter uma solução e melhorar a produção de milho. Sabendo que a água, o solo e o ar são fontes de nutrientes, Pedro questionou se o problema seria pela fonte de nutrientes, principalmente em relação ao solo. Entretanto, ele percebeu que não sabia o que realmente são nutrientes. Além disso, ele se questionou: todos os elementos presentes no solo são essenciais para a vida da planta? Afinal, o que caracteriza um nutriente como essencial?



Dica

O conhecimento sobre o conceito de nutrição mineral de plantas representa a primeira etapa de um aprendizado mais completo sobre temas que serão apresentados no decorrer das seções desta unidade. Caso você tenha alguma dúvida sobre o objetivo e a conceituação da nutrição de plantas, exponha seus questionamentos ao seu professor para evitar que você tenha dificuldade nesta seção.

Entender e saber explicar o que é a essencialidade de nutriente é imprescindível para um profissional da agronomia. As orientações que o profissional irá fazer em relação à necessidade nutricional das plantas são importantes para que

esse vegetal tenha as condições favoráveis para atingir o seu potencial de desenvolvimento. Tanto para o profissional quanto para quem irá receber a recomendação de adubação é importante saber compreender o critério de essencialidade, pois quando estamos cientes de que o nutriente é essencial, sabemos, por exemplo, que a sua ausência irá provocar sérias consequências ao vegetal.

Não pode faltar

Atualmente, com a necessidade de uma produção agrícola de qualidade e em quantidade satisfatória, que atenda à população mundial, cada vez mais os produtores investem em tecnologias para proporcionar as melhores condições para os vegetais atingirem a sua máxima produtividade. Entre as condições e fatores que interferem diretamente na produção agrícola, destacam-se: a água, a luz, a temperatura favorável, as pragas, as doenças e a disponibilidade de nutrientes minerais para as plantas. Nesta seção, nossos estudos serão direcionados para compreender melhor o papel dos nutrientes para as plantas.

A nutrição de plantas está, muitas vezes, relacionada ao solo, sendo muitos estudos direcionados para o conhecimento de sua fertilidade. Você já imaginou que é o solo que fornece os nutrientes? É notável que o solo é um dos principais elementos que influencia no desenvolvimento das plantas, pois além de representar o meio físico onde elas estão inseridas, também pode ser uma das fontes de nutrientes. Mas, apesar de imaginarmos que ele é o maior disponibilizador de elementos, também representa apenas uma pequena parte do armazenamento dos nutrientes. O solo não é vital para as plantas, entretanto possui um importante papel, principalmente o de fixar a plantas e proporcionar um cultivo em larga escala e economicamente viável.

Os solos podem ser classificados como ricos ou pobres em nutrientes. No Brasil, a maioria é classificada como solo ácido e de baixa fertilidade, demandando que técnicas de manejo sejam adotadas para corrigir a acidez e aumentar a sua fertilidade. Outro importante fator a ser destacado é que mesmo os solos com alto teor de nutrientes podem sofrer com alguns processos que afetam sua fertilidade, como a exploração agrícola, um dos principais motivos para que isso ocorra.



Assimile

Mas, afinal, o que é **nutriente**?

O nutriente é um elemento químico essencial para a vida da planta, ou seja, sem a presença dele, é provável que a planta não sobreviva ou que parte de suas funções sejam impactadas, ocasionando deficiências.

De forma geral, os elementos químicos podem ser caracterizados como:

- Essencial: relevante para que a planta consiga sobreviver.
- Benéfico: está relacionado ao crescimento e à produção do vegetal.
- Tóxico: ocasiona danos às plantas, sendo um agente limitante ao seu crescimento e a atividade de algumas de suas funções. Os elementos tóxicos podem levar as plantas à morte.

Quando o solo é analisado, uma grande quantidade de elementos pode ser encontrada, e até mesmo em alguns vegetais isso pode ser identificado. Isso ocorre pelas plantas conseguirem absorver não apenas os nutrientes, mas qualquer elemento que esteja disponível.



Reflita

Os nutrientes que estudamos na escola e que compõem a tabela periódica estão quase todos disponíveis para as plantas na natureza, entretanto será que todos eles são absorvidos pelos vegetais?

A planta pode absorver e armazenar nos seus tecidos muitos elementos que nem sempre são nutrientes favoráveis ao seu desenvolvimento, como também não são essenciais para manter suas funções vitais.

Como as plantas podem absorver diferentes nutrientes e até mesmo não nutrientes, precisamos compreender quais deles são essenciais para o adequado desenvolvimento do ciclo das plantas.

Um nutriente é considerado um elemento essencial, pois sem ele o vegetal não consegue sobreviver. Podemos concluir, assim, que o elemento precisa estar disponível para a planta para que ela possa completar seu ciclo de vida. E para que o elemento químico possa ser considerado um nutriente, ele precisa atender ao critério de essencialidade, que pode ser: direto, indireto ou ambos.

No direto, o elemento tem participação importante em algum composto ou reação vital para a planta. Já no indireto, o elemento tem participação relevante para que ela consiga completar seu ciclo de produção (vegetativo e reprodutivo), o elemento não pode ser substituído por nenhum outro e, além disso, ele deve ter um efeito direto na vida da planta, não se limitando a exercer apenas a função de neutralizar efeitos físicos, químicos ou biológicos que prejudicam o seu desenvolvimento.

A maioria dos estudos apresentam que as plantas têm cerca de 16 elementos químicos como nutrientes. Conforme apresentado brevemente na Seção 1.1, eles são: Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O), Nitrogênio

(N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Boro (B), Cloro (Cl) e Molibdênio (Mo).

Esses elementos minerais essenciais são comumente classificados como macro ou micronutrientes (tema da próxima seção), de acordo com a sua concentração relativa no tecido ou com a concentração requerida para o crescimento adequado da planta.

A importância dos nutrientes está relacionada a vários fatores, entre eles, o desempenho de relevantes funções no metabolismo das plantas, atuando como substrato (composto orgânico) ou em sistemas enzimáticos. De acordo com as funções, podem ser classificados como:

Estrutural: quando faz parte da estrutura de um composto vital para a planta.

Ativador enzimático: o nutriente, além de ativar, também inibe sistemas enzimáticos, afetando a velocidade das reações no metabolismo das plantas.

Constituinte de enzima: faz parte de uma estrutura específica, grupo prostético/ativo de enzimas.

Sabendo das necessidades das plantas em ter nutrientes para desenvolver-se e completarem seu ciclo, é importante que seja fornecida uma adubação balanceada que forneça os nutrientes essenciais.



Assimile

Ao realizar a adubação não deve ser apenas observado se os nutrientes estão sendo inseridos no solo ou em soluções nutritivas. Outros importantes fatores e práticas precisam ser considerados, pois poderão influenciar positivamente ou negativamente na disponibilidade dos nutrientes para as plantas.

Para que um elemento químico seja classificado como essencial, alguns critérios precisam ser contemplados, como: a ausência do elemento impede que a planta complete seu ciclo; a deficiência pode ser suprida ou prevenida apenas com o fornecimento do próprio elemento; o elemento deve ter a sua função associada diretamente na nutrição da planta, ou seja, a sua ação não deve ser proveniente da correção de condições químicas ou microbiológicas desfavoráveis do solo ou do meio de cultura.

Algumas técnicas especiais são utilizadas no estudo da nutrição mineral de plantas. Desde o início do século XX, muitas pesquisas foram desenvolvidas para alcançar a caracterização dos elementos fundamentais para o

ciclo vital das plantas. No caso da demonstração de essencialidade de um elemento, este é retirado do meio nutritivo para que seja avaliada a resposta do vegetal frente à sua ausência. Entretanto, retirar um elemento de um meio complexo como o solo é uma medida difícil de ser adotada. Alguns dos estudiosos citados na Seção 1.1, como Saussure e Boussingault, demonstraram que as plantas poderiam desenvolver-se em uma solução nutritiva, ou seja, o solo não era fundamental, como a técnica utilizada na hidroponia.

A solução nutritiva deve fornecer os elementos essenciais em concentrações que permitam o rápido crescimento da planta, tendo cuidado para que estes não atinjam níveis tóxicos e prejudiquem a vida dos vegetais.



Exemplificando

O fato do solo não ser essencial à vida das plantas pode ser exemplificado quando é utilizada a Hidroponia.

Essa é uma técnica que não utiliza o solo como meio de fornecer nutrientes. Para substituí-lo, é utilizada uma solução formulada por fertilizantes e nutrientes solúveis na água.

Figura 1.2 | Plantas cultivadas no sistema hidropônico (não há utilização de substrato sólido)



Fonte: <<http://www.novonegocio.com.br/rural/hidroponia>>. Acesso em: 9 maio 2016.

Esse é um dos exemplos de que plantas podem desenvolver-se satisfatoriamente se houver um meio que as forneça os nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento e este não precisa ser necessariamente o solo.

Quando uma planta não consegue ter o suprimento de elementos essenciais de forma adequada, seja pela quantidade inferior ou superior a necessária (deficiência ou excesso) acontece uma desordem nutricional que evidencia sintomas nos vegetais. Os sintomas de deficiência de nutrientes em uma planta correspondem à expressão da desordem metabólica resultante do suprimento insuficiente de um elemento essencial. Essas desordens estão relacionadas com os papéis executados pelo elemento no funcionamento normal da planta.

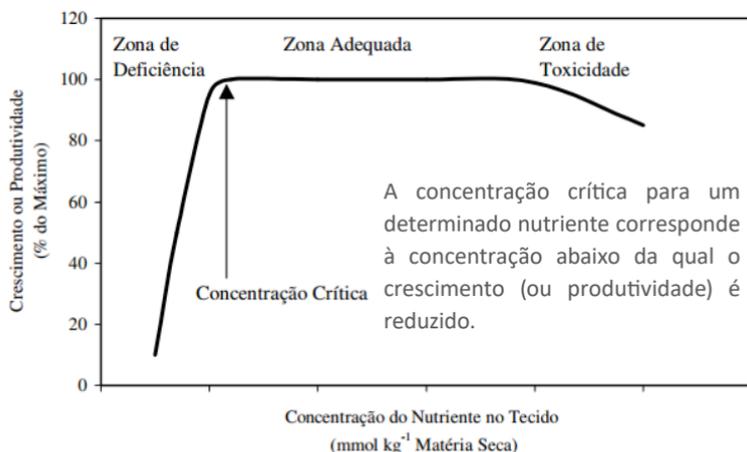
A relação entre o desenvolvimento e a concentração de nutrientes nas plantas demonstra a ocorrência de três zonas diferentes (Figura 1.3):

Zona de deficiência: Nesta zona, o teor nutricional no tecido vegetal é baixo, o que influencia no crescimento da planta, que é reduzido. A adição de fertilizantes ajudará que o vegetal consiga recuperar-se e aumente sua produtividade.

Zona adequada: Diferentemente do que ocorre na zona de deficiência, quando fertilizantes são adicionados não ocorre maior produtividade ou crescimento do vegetal.

Zona de toxicidade: Nesta zona, há um acúmulo excessivo do nutriente, provocando um efeito contrário do esperado, ou seja, o resultado que beneficiaria a planta é inibido e ocorre toxicidade do vegetal, prejudicando suas funções vitais.

Figura 1.3 | Relacionamento entre o crescimento (ou produtividade) e o teor de nutrientes no tecido vegetal



Fonte: Taiz e Zeiger (1998, [s.p.]).



Faça você mesmo

Agora que você já conhece mais sobre os nutrientes e os critérios de essencialidade dos elementos, reflita e responda: quais são os critérios básicos para caracterizar um elemento essencial?

Cada nutriente em excesso ou deficiência pode ocasionar sérias consequências as plantas e isso será estudo nas próximas seções dessa unidade. O que é importante observar para compreender melhor os temas seguintes é que nem tudo absorvido pelas plantas será benéfico a elas ou essenciais ao seu ciclo. Como profissional, você deve estar atento sobre a importância dos vegetais terem os nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento disponíveis durante sua vida.

Sem medo de errar

Aluno, agora é a hora de colocar em prática seus conhecimentos! Reflita sobre o que leu e aprendeu e vamos solucionar a situação-problema apresentada no *Diálogo Aberto*. Relembre: sabendo que a água, o solo e o ar são fontes de nutrientes, Pedro questionou se o problema seria pela fonte de nutrientes, principalmente em relação ao solo. Entretanto, ele percebeu que não sabia o que realmente são nutrientes. Além disso, ele se questionou: todos os elementos presentes no solo são essenciais para a vida da planta? Afinal, o que caracteriza um nutriente como essencial?



Atenção

As fontes de nutrientes afetam significativamente a sua disponibilidade. Em meios de cultivo que utilizam o solo, muitos fatores podem interferir na quantidade e até na presença de um elemento essencial aos vegetais. Entretanto, é sempre importante fazer análises e observações para compreender o que está ocorrendo no cultivo.

Para que Pedro entenda melhor as explicações seguintes, ele precisará compreender o conceito de nutriente: *“elemento químico essencial para a vida da planta, ou seja, sem a presença desse nutriente é provável que a planta não sobreviva ou que parte de suas funções sejam impactadas, ocasionando deficiências.”*

Pedro está correto de achar que a disponibilidade de nutrientes pode estar afetando o desenvolvimento do milho. Quando algum nutriente está em quantidade mais baixa que a necessária, ou ausente, isso levará a sintomas que são característicos de acordo com o elemento que não está sendo suprido corretamente.

Um nutriente é considerado um elemento essencial, pois sem ele o vegetal não consegue sobreviver, podemos concluir, assim, que o elemento precisa estar disponível para a planta para que complete seu ciclo de vida. E para que o elemento químico possa ser considerado um nutriente, ele precisa atender ao critério de essencialidade, que pode ser: direto, indireto ou ambos.

No direto, o elemento tem participação importante em algum composto ou reação vital para a planta. Já no indireto, o elemento tem participação relevante para que ela consiga completar seu ciclo de produção (vegetativo e reprodutivo), o elemento não pode ser substituído por nenhum outro e, além disso, ele deve ter um efeito direto na vida da planta, não se limitando a exercer apenas a função de neutralizar efeitos físicos, químicos ou biológicos que prejudicam o desenvolvimento das plantas.

Avançando na prática

Como identificar a deficiência de um nutriente na hidroponia?

Descrição da situação-problema

Mariana é uma agrônoma que está se dedicando ao ramo da horticultura e atualmente é consultora de uma produção hidropônica de alface. Percebendo que a produção estava apresentando um sintoma de deficiência nutricional bem específico, de um elemento, Mariana começou a buscar uma forma de identificar qual seria o nutriente que estaria provocando os sintomas nas plantas.

Querendo associar a solução do problema na produção com uma pesquisa, Mariana decidiu planejar um experimento. Entretanto, ela teria o desafio de encontrar uma forma de saber qual seria o nutriente em quantidade insuficiente na solução nutritiva utilizada na hidroponia. Como Mariana pode demonstrar a essencialidade dos nutrientes?



Lembre-se

Alguns estudiosos, como Saussure e Boussingault, demonstraram que as plantas poderiam desenvolver-se em uma solução nutritiva, ou seja, o solo não era fundamental, como a técnica utilizada na hidroponia.

Resolução da situação-problema

Para esclarecer a situação-problema, você irá precisar das seguintes informações:

Algumas técnicas especiais são utilizadas no estudo da nutrição mineral de plantas, por exemplo, a solução nutritiva utilizada na hidroponia deve fornecer os elementos essenciais em concentrações que permitam o rápido crescimento da planta, tendo cuidado para que estes não atinjam níveis tóxicos e prejudiquem a vida dos vegetais. Dessa forma, Mariana poderia utilizar a ideia de demonstração de essencialidade de um elemento, em que este é retirado do meio nutritivo para que seja avaliada a resposta do vegetal à ausência do elemento.

No caso, o experimento de Mariana iria demonstrar os sintomas característicos da ausência dos nutrientes e, assim, ela poderia fazer um comparativo com os sintomas já presentes na produção de alface, a qual ela é responsável.



Faça você mesmo

Escolha uma cultura vegetal de sua preferência e faça uma pesquisa demonstrando como a nutrição mineral influencia diretamente na sua produtividade. Escolha alguns dos sintomas que o excesso, ausência ou insuficiência dos nutrientes podem ocasionar. Você não precisa se aprofundar nas funções dos nutrientes e demonstrar os sintomas característicos de cada um deles. Isso será abordado com maior especificidade na Seção 1.3.

Faça valer a pena

1. Atualmente, com a necessidade de uma produção agrícola de qualidade e em quantidade satisfatória que atenda à população mundial, cada vez mais os produtores investem em tecnologias para proporcionar as melhores condições para que os vegetais atinjam a sua máxima produtividade.

Entre as condições e fatores que interferem diretamente na maior produtividade agrícola, podemos citar:

- Baixa concentração de nutrientes no solo e alta quantidade de luz ultravioleta.
- Frio intenso e luz infravermelha.
- Água, luz e temperatura favorável.
- Excesso de nutrientes.
- Baixa quantidade de luz e pouca disponibilidade de água.

2. É notável que o solo é um dos principais elementos que influencia no desenvolvimento das plantas, pois além de representar o meio físico onde elas estão inseridas, também pode ser uma das suas fontes de nutrientes.

A respeito do solo, podemos afirmar que:

- a) O solo não é vital para as plantas, entretanto possui um importante papel, principalmente de fixar a plantas e proporcionar um cultivo em larga escala, que seja economicamente viável.
- b) O solo é vital para plantas e não existe nenhuma forma de cultivo sem ele.
- c) O solo não é vital para as plantas e é possível ter qualquer cultivo em qualquer solo.
- d) É possível adicionar qualquer elemento ao solo sem que isso estrague sua qualidade, portanto qualquer quantidade de fertilizante é bem-vinda ao solo.
- e) O solo é de vital importância para a planta, e uma vez retirada dele, deve ser consumida ou morrerá.

3. Os solos podem ser classificados como ricos ou pobres em nutrientes. No Brasil, a maioria é classificada como solo ácido e de baixa fertilidade, demandando que técnicas de manejo sejam adotadas para corrigir a acidez e aumentar a sua fertilidade. Sobre os nutrientes do solo, a alternativa correta é:

- a) O nutriente é um elemento químico essencial para a planta, porém ela consegue sobreviver por décadas com uma pequena quantidade absorvida.
- b) O nutriente é um elemento químico essencial para a vida da planta, ou seja, sem sua presença é provável que a planta não sobreviva.
- c) Solos pobres em nutriente não podem ser recuperados, portanto, após sua utilização agrícola ele pode ser usado para a construção civil.
- d) Solos ricos em nutrientes devem ser aproveitados até o final, e só após isso, utilizar fertilizantes em grande quantidade.
- e) Fertilizantes devem sempre ser usados independentemente de estudos realizados no solo e, assim, garantir que sempre existam nutrientes nele.

Macro e micronutrientes

Diálogo aberto

Olá, aluno! Iniciaremos agora mais uma etapa que dará continuidade ao estudo sobre os nutrientes que fazem parte da nutrição mineral de plantas. Já sabemos os critérios que os elementos precisam atender para serem considerados nutrientes e, nesta seção, entenderemos como eles são divididos quantitativamente de acordo com a necessidade dos vegetais.

Conforme estudamos na Seção 1.2, as deficiências nutricionais são uma forma de resposta das plantas à carência de um ou mais nutrientes que são essenciais à sua sobrevivência, o que resulta em sintomas. Por isso, conhecer e compreender a importância de cada nutriente e sua função é essencial para que medidas corretas sejam adotadas no manejo da cultura.

Os nutrientes minerais são classificados em macro e micronutrientes, de acordo com a concentração encontrada nos tecidos dos vegetais. Os nutrientes encontrados em maiores concentrações são designados de macronutrientes, sendo alguns dos exemplos o Nitrogênio, Fósforo e Cálcio. Já aqueles nutrientes que são encontrados em quantidades menores são designados de micronutrientes e, entre alguns deles, destacam-se o Cloro, Boro, Zinco e Ferro.

Na situação-problema desta seção, Pedro tem um problema mais específico a ser solucionado. Ao observar os sintomas que o milho estava apresentando pela deficiência de nutrientes, ele identificou que as plantas tinham visualmente uma característica específica e comum. Refletindo sobre isso e lembrando que aprendeu anteriormente que os nutrientes em excesso ou em quantidades insuficientes afetam diretamente as funções das plantas, ele chegou à conclusão de que essa característica poderia ser de um dos nutrientes fornecidos ao milho.

Diante disso, Pedro tem alguns questionamentos pertinentes: os nutrientes possuem uma função específica para a plantas? Os vegetais têm diferentes necessidades em relação aos nutrientes? Eles sempre estão disponíveis no solo? E, ainda, cada nutriente apresenta uma função específica para o vegetal?



Dica

Para responder os questionamentos da situação-problema, você terá, ao fim desta seção, o conhecimento sobre as funções dos macros e micronutrientes, a sua importância e como eles afetam as plantas quando estão em quantidades insuficientes à necessidade dos vegetais.

Vamos começar?

Não pode faltar

Uma planta necessita absorver uma série de elementos minerais e, para que consiga crescer e se desenvolver, é preciso que todos eles estejam disponíveis. A maior parte desses nutrientes é absorvida no solo, pela raiz, e a outra parte, no ar, pelas folhas. Caso a planta apresente falta ou quantidade insuficiente desses nutrientes, suas funções fisiológicas serão afetadas, e para que isso não aconteça, é comum utilizar fertilizantes com a finalidade de adicionar ao solo todos os nutrientes necessários pela planta.

Como cada planta necessita de uma quantidade específica de nutrientes, para um plantio planejado, pode ser relativamente simples para o agricultor compensar o déficit nutricional da área após realizar uma análise de fertilidade. Os nutrientes são divididos em dois grupos, cada um com sua particularidade. Esses grupos são denominados de **macronutrientes** e **micronutrientes**.



Assimile

A divisão em macro e micronutrientes está diretamente ligada à quantidade do nutriente que é absorvido pela planta. Os macronutrientes estão no tecido vegetal na proporção de g.kg⁻¹, já os micronutrientes apresentam-se em mg.kg⁻¹ de massa seca (MS). Apesar de haver distinção na quantidade requerida dos nutrientes, por serem elementos químicos essenciais, eles são igualmente relevantes para o desenvolvimento adequado dos vegetais. Nas próximas unidades, você aprenderá mais sobre esse assunto!

Os nutrientes provenientes do ar e da água representam cerca de 95% dos nutrientes, que são os seguintes: o Oxigênio (O) é utilizado na respiração celular quando ocorre o consumo dos açúcares produzidos pela fotossíntese para a criação de moléculas de ATP. O Carbono (C) é usado na parte biomolecular das plantas, sendo a base do amido e da celulose. Tem como origem o gás carbônico (CO₂) absorvido do ar e sua fixação ocorre através da fotossíntese, processo essencial para o desenvolvimento da planta e para a produção de oxigênio atmosférico que respiramos. Já o Hidrogênio (H) é proveniente basicamente da água (H₂O) absorvida pela planta e desempenha papel importante na formação dos carboidratos da planta.

Os macronutrientes são elementos que a planta necessita em grande quantidade e são providos do solo, os quais destacam-se:

O Nitrogênio (N) é um macronutriente primário, composto-base das proteínas vegetais e animais, e partícula dos mais importantes processos fisiológicos da planta (fotossíntese, respiração, crescimento, absorção iônica, etc), está presente na molécula da clorofila e também participa da síntese de vitaminas, coenzimas, hormônios e outros. Sua falta interfere diretamente na estrutura da planta pela má-formação celular, é exigido em maior quantidade pelas culturas do que qualquer outro nutriente. Nos solos, a baixa quantidade de nitrogênio encontrada se dá basicamente pela decomposição da matéria orgânica, sendo que um dos produtos é o amônio, que pode ser absorvido pela planta ou convertido em nitrato.

Outro macronutriente é o Fósforo (P) cuja função principal é fazer parte da molécula de ATP para os processos energéticos da planta, tal como a fotossíntese. É importante para a floração e formação de sementes. É considerado um dos macronutrientes primários, junto com o nitrogênio e o potássio, já que sua utilização é alta e sua falta limita o crescimento da planta. Auxilia também na resistência a algumas doenças e problemas climáticos. Sua absorção ocorre através do solo e como somente pequenas quantidades estão presentes, deve ser frequentemente renovado pela decomposição de matéria orgânica e liberado pelos minerais. Sua presença no solo é altamente influenciada por fatores como pH e acidez.

O Potássio (K), assim como o nitrogênio e o fósforo, faz parte dos chamados macronutrientes primários. Através de um transporte ativo (que utiliza energia) chamado bomba de sódio e potássio, a abertura dos estômatos é regulada pela turgidez das células-guarda, auxiliando, assim, a regulação de perdas de água pela folha. É amplamente encontrado nos solos e absorvido na forma de cátion K^+ , abundante em rochas e atinge o solo através do intemperismo.

O Cálcio (Ca) é o quinto elemento em maior concentração na crosta terrestre. É classificado como um dos macronutrientes secundários, seus efeitos principais são no crescimento e desenvolvimento da planta, atuando também no atraso do amadurecimento do fruto. Além disso, altera a resposta ao geotropismo sofrido pela planta, aumenta o volume celular, ajuda na fixação de nitrogênio pela bactéria *Rhizobium* nas leguminosas e possui um fato crucial no aumento da absorção e transporte dos outros nutrientes pela planta.

Disponível na forma de Mg^{++} , o Magnésio (Mg) participa da constituição da molécula de clorofila (que possui coloração verde) e sua deficiência produz um amarelamento das folhas. Esse metal alcalino-terroso é o

sexto composto mais abundante na crosta da Terra, por fazer parte da clorofila, desempenha papel crucial na fotossíntese da planta, que através dela, é produzido seu alimento.

O sexto macronutriente é o Enxofre (S), que faz parte de alguns aminoácidos contidos nas proteínas. Esse não metal tem sua origem principal de rochas ígneas. Devido à sua importância nesses compostos, é classificado como nutriente-chave para o cultivo e é essencial para a produção de cloroplastos. Sua deficiência na planta é comumente confundida com a de nitrogênio, e além de amarelar as folhas, é possível notar um crescimento raquítico das plantas.

Figura 1.4 | Macronutrientes de plantas



Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/49560/>. Acesso em: 03 jun. 2016

Diferentemente dos macronutrientes, os micronutrientes são aqueles elementos químicos essenciais os quais os vegetais necessitam em menor quantidade para desenvolver-se. Entre eles, destacam-se:

O Boro (B), que tem a função principal de atuar na divisão celular, na produção de algumas enzimas e no transporte de açúcar através de membranas, faz parte também da germinação do grão de pólen, no crescimento do tubo polínico, no desenvolvimento das raízes e na síntese de ácidos nucleicos. É encontrado em rochas sedimentares marinhas e perto de vulcões, mas dependendo de sua origem, pode ser encontrada na água.

O micronutriente Cobre (Cu) participa de inúmeros processos na planta, tais como: fotossíntese, respiração, redução e fixação de nitrogênio e distribuição de carboidratos. Possui influência na permeabilidade da água dos vasos condutores de seiva bruta (xilema). Sua deficiência pode interferir na reprodução da planta e facilitar o aparecimento de doenças.

Já o Ferro (Fe) age como catalisador, participa da formação da clorofila, além de desempenhar a função de carregador do oxigênio. Ocorre no solo

como óxidos (hematita e magnetita) devido a ações intempéricas nas rochas. Sua falta nas plantas pode ser identificada por meio de uma coloração verde muito clara nas folhas, com as nervuras envoltas por uma faixa verde. Os sintomas são observados também pela vitrificação, que dá uma aparência de vidro para as folhas, deixando-as transparentes e retorcidas. O Fe é de extrema importância para a síntese proteica, na respiração da planta e na transferência de energia.

Outro importante micronutriente é o Molibdênio (Mo), que possui participação na produção de aminoácidos pela planta. Participa também da síntese e do funcionamento da redutase do nitrato. Por isso, possui um papel importantíssimo na fixação do nitrogênio pelas bactérias, e em alguns casos como nas leguminosas, participa na metabolização do nitrogênio. O Mo está presente no solo, no interior de minerais primários e secundários e é liberado na forma de íons devido ao intemperismo. Sua deficiência pode ser notada pelo amarelamento de folhas e diminuição do crescimento.

O Manganês (Mn) tem principal atuação na produção de clorofila e participação no metabolismo energético. Esse nutriente ajuda na prevenção de algumas doenças da planta, e participa da síntese de clorofila e da fotossíntese. A sua falta é evidenciada pelo amarelamento das folhas.

Presente em inúmeras rochas, o Zinco (Zn) é encontrado na forma de compostos como fosfatos, sulfetos e carbonatos. Tem importância crucial na síntese de enzimas e hormônios, como o do crescimento. Por esse motivo, plantas que possuem deficiência em zinco costumam ser menores, afetando o crescimento de ramos e folhas. Entre outras funções, influencia na permeabilidade da membrana e na frutificação.

Absorvido na forma de Co^{2+} , o Cobalto (Co) participa da fixação do N_2 pelas bactérias, algas azuis e sistemas simbióticos. Sua principal função é constituir parcialmente a vitamina B12, a qual estimula a síntese proteica nos organismos, além de participar de processos de regulação hormonal para abscisão e senescência. O excesso de cobalto interfere diminuindo a absorção de ferro e manganês, assim, um fator que pode evidenciar a falta desses elementos na planta é a grande quantidade de cobalto no solo. A falta de cobalto na planta pode ser notada por uma má-formação das flores, diminuição dos eixos primários e secundários e supressão da dominância apical.

O Cloro (Cl) participa regulando o potencial osmótico da célula, sua hidratação e turgescência, fato extremamente importante em épocas de seca. Além disso, possui papel fundamental na fotossíntese durante a fotólise da água. Seu excesso acarreta no atraso e na diminuição da qualidade da maturação. Devido ao fator de regulação hídrica, seu excesso faz com que a combustibilidade da planta diminua.



Refleta

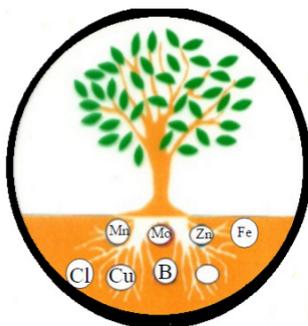
Os macronutrientes são os nutrientes requeridos em maior quantidade pelas plantas. Você acha que isso os caracteriza como mais importantes que os micronutrientes?



Exemplificando

O número de nutrientes pode ser variável de acordo com os estudos encontrados sobre a nutrição mineral de plantas. Por exemplo, o Níquel (Ni) é um dos elementos mais recentemente identificados como essencial para as plantas, participa da ativação de várias enzimas, tais quais a urease, que participa do metabolismo do nitrogênio. Consegue também substituir alguns compostos como cofatores em algumas enzimas. Sua deficiência pode acarretar em um acúmulo de ureia na planta, ocasionando lesões necróticas.

Figura 1.5 | Micronutrientes de plantas



Fonte: <<http://slideplayer.com.br/slide/49560/>>. Acesso em: 03 jun. 2016.



Faça você mesmo

Agora que você já conhece mais os macros e micronutrientes, faça um resumo sobre a importância de cada um, separando quais são necessários em cada etapa do desenvolvimento da planta. Isso ajudará você a fixar esse conhecimento exercitando o que aprendeu!

Para que você consiga aprimorar seus conhecimentos, é importante que acesse sempre artigos atuais que trazem importantes informações sobre possíveis novas descobertas e mudanças que ocorrem em relação à nutrição mineral de plantas. Além disso, com o avanço dos estudos, novas funções e sintomatologias podem ser identificadas, ajudando para que o manejo adotado nas culturas seja o mais adequado possível.



Pesquise mais

Para conhecer mais sobre os macros e micronutrientes, selecionamos um artigo que utilizou a cultura do milho (também utilizada na situação-problema proposta nesta seção) intitulado “Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010”, de autoria de Magna Maria Macedo Ferreira.

O experimento objetiva analisar a sintomatologia de deficiência nutricional dos nutrientes, por meio da diagnose visual.

FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista Agro@mbiente On-line**, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 74-83, jan.-abr. 2012.

Sem medo de errar

Caro aluno, agora é hora de colocar em prática o que você conheceu sobre os macro e micronutrientes nesta seção! Vamos lá?!

Relembrando a situação-problema desta seção: Pedro tem alguns questionamentos pertinentes: os nutrientes possuem uma função específica para as plantas? Os vegetais têm diferentes necessidades em relação aos nutrientes? Eles sempre estão disponíveis no solo? E ainda, cada nutriente apresenta uma função específica para o vegetal?



Atenção

É importante ressaltar que o milho, assim como as outras culturas, precisa de uma quantidade suficiente de nutrientes para desenvolver-se. Entretanto, os nutrientes mais exigidos pelo milho são o nitrogênio e o potássio, vindo em seguida o fósforo, o cálcio e o magnésio.

Para ajudar Pedro a solucionar seus questionamentos, você precisará colocar em prática o que vem aprendendo ao longo desta unidade. O primeiro questionamento pode ser solucionado com o esclarecimento do conceito de essencialidade de um nutriente: para que seja considerado essencial, o elemento precisa ter uma função que não pode ser substituída por outro elemento.

Os vegetais apresentam uma necessidade pelos mesmos nutrientes em comum, entretanto, de acordo com a espécie, alguns nutrientes podem ser necessários em maior quantidade do que outros. Isso dependerá do propósito do vegetal também, por exemplo, se a planta é frutífera ou ornamental.

Em relação à disponibilidade dos nutrientes, isso é algo muito relativo e nem sempre os nutrientes estarão disponíveis ao vegetal. Devido a muitos

fatores que interferem nas condições favoráveis aos nutrientes, isso pode levar à ausência ou deficiência do elemento essencial para a planta. Por isso, é importante que seja feita a análise de solo para saber a quantidade de nutrientes que está disponível para o vegetal e, assim, saber o quanto é necessário que seja adicionado de cada elemento.

Ao estudar os macros e micronutrientes, compreendemos que cada um deles tem uma função fundamental para as plantas, independentemente da quantidade que ela necessita, pois cada função desempenhada por eles tem grande relevância ao desenvolvimento do ciclo da planta.



Lembre-se

O nitrogênio é um macronutriente primário, composto-base das proteínas vegetais e animais, e partícua dos mais importantes processos fisiológicos da planta (fotossíntese, respiração, crescimento, absorção iônica, etc), está presente na molécula da clorofila e também participa da síntese de vitaminas, coenzimas, hormônios e outros. Sua falta interfere diretamente na estrutura da planta pela má-formação celular, é exigido em maior quantidade pelas culturas do que qualquer outro nutriente.

Avançando na prática

Como diferenciar macro e micronutrientes na prática?

Descrição da situação-problema

Em uma aula da disciplina de Nutrição Mineral de Plantas, Paula estava com algumas dificuldades para compreender a diferença entre os macros e micronutrientes. Para compreender melhor o que tinha sido abordado durante a aula, ela resolveu tentar aplicar na prática os conhecimentos aprendidos.

Dessa forma, no papel de professor, como você poderia auxiliar Paula a entender melhor a função dos macros e micronutrientes para que ela possa aplicar seu conhecimento?



Lembre-se

Ter o conhecimento de como ocorre na prática o que está sendo aprendido na teoria é de extrema importância para vivenciar, visualizar e entender a resposta das plantas à presença ou ausência dos nutrientes.

Resolução da situação-problema

Para que Paula entenda melhor essa relação, muitas práticas podem ser adotadas, por exemplo: um pequeno experimento em que diferentes vasos de plantas recebam diferentes quantidades de nutrientes ou que sejam suprimidos alguns deles.

Outra sugestão seria que Paula elaborasse um experimento com diferentes quantidades de nutrientes e compreender, quantitativamente, a diferença que será encontrada pelo teor diferenciado de nutrientes adicionados em cada vaso.



Faça você mesmo

Baseando-se na sugestão da situação-problema, faça um pequeno experimento no qual você possa obter as funções de alguns nutrientes:

Por exemplo, selecione alguns vasos de plantas que possuam as mesmas condições, sejam abióticas, quando fisiológicas. Então, forneça a cada vaso diferentes tipos de nutrientes, você pode escolher alguns para verificar os sintomas que a deficiência deles irá ocasionar.

Fique atento para que tenha uma planta testemunha no seu experimento para que, assim, possa ter um comparativo.

Faça valer a pena

1. “É usado na parte biomolecular das plantas, sendo a base do amido e da celulose e não tem como origem o solo”. Sobre qual elemento a afirmativa está abordando?

- a) Molibdênio e Oxigênio.
- b) Zinco e Enxofre.
- c) Carbono.
- d) Prata e Chumbo.
- e) Potássio e Sódio.

2. Entre os macronutrientes primários estão:

- a) Nitrogênio, Potássio e Fósforo.
- b) Sódio, Potássio e Fósforo.
- c) Nitrogênio, Sódio e Potássio.
- d) Potássio, Nitrogênio e Cloro.
- e) Nitrogênio, Fósforo e Magnésio.

3. Entre todos os macronutrientes, é feita uma divisão entre primários e secundários. São considerados como secundários os nutrientes:

- a) Fósforo e Nitrogênio.

- b) Cloro e Ferro.
- c) Cobre e Potássio.
- d) Cálcio e Magnésio.
- e) Nitrogênio e Fósforo.

Elementos benéficos

Diálogo aberto

Olá, aluno! Seja bem-vindo à última seção da Unidade 1!

Durante o estudo das seções anteriores, você pôde compreender mais sobre os conceitos da nutrição mineral de plantas, sua importância, o que são nutrientes e, além disso, você conheceu mais sobre os macros e micronutrientes.

Nesta seção, você aprenderá sobre mais um dos tópicos da nutrição mineral de plantas: os elementos benéficos. Você já parou para pensar que mesmo que um elemento químico não seja um nutriente, ou seja, essencial ao desenvolvimento das plantas, ele pode ser benéfico ao seu crescimento? É sobre isso que iremos estudar agora.

Na situação-problema desta seção o seguinte contexto é apresentado: Pedro, compreendendo a importância que os macros e micronutrientes exercem pelas suas funções específicas, agora entende a necessidade de eles estarem disponíveis aos vegetais. Para ajudar na recuperação da plantação de milho, Pedro resolveu que adicionar os nutrientes no solo seria a melhor forma para que o vegetal apresentasse uma produtividade similar ao esperado por ele.

Dessa forma, Pedro, sem realizar a análise do solo para saber quais nutrientes estavam em deficiência, adicionou uma grande quantidade de fertilizantes para suprir a necessidade do milho. Após alguns dias, esperando uma melhora no aspecto visual dos vegetais, Pedro encontrou uma situação diferente da esperada: as plantas apresentaram um agravamento no seu estado. Elas estavam nitidamente debilitadas, com aparência de que estavam morrendo.

Sem compreender essa reação dos vegetais à adição dos nutrientes, Pedro questionou: o que poderia ter resultado no agravamento do aspecto dos vegetais? Por que isso ocorreu? Isso pode ser solucionado? E, ainda, o que poderia ter evitado essa situação?



Dica

Para conhecer bem sobre os assuntos que estão relacionados à nutrição mineral de plantas, é preciso conhecer todos aqueles elementos químicos que podem ser favoráveis ao desenvolvimento esperado do

vegetal. Entretanto, é preciso também entender sobre a toxicidade que os elementos químicos podem causar às plantas! Fique atento!

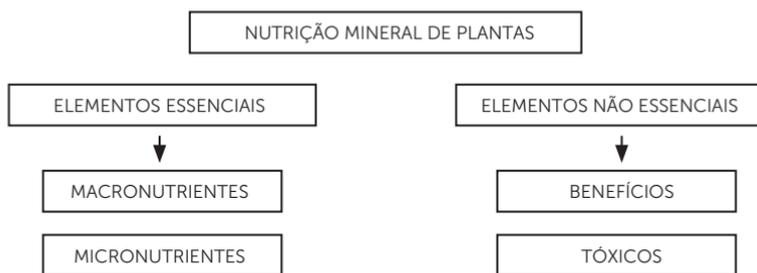
Preparado para começar?!

Não pode faltar

Ao estudar a nutrição mineral de plantas, um dos tópicos mais relevantes é o conhecimento sobre quais elementos químicos fazem parte do processo de desenvolvimento dos vegetais. Durante as seções anteriores, você estudou importantes conceitos da nutrição mineral de plantas, principalmente sobre os elementos essenciais: macro e micronutrientes. Apesar da importância significativa que esses elementos têm para as plantas, não são os únicos que podem trazer benefícios a elas.

Nesta seção, você conhecerá mais sobre os elementos não essenciais ao ciclo das plantas, que também possuem significativa importância quando é definido o manejo a ser adotado na área de cultivo (Figura 1.6). Esses elementos podem ser classificados como benéficos ou úteis e, também, tóxicos.

Figura 1.6 | Esquema nutrição de plantas



Fonte: elaborada pela autora.

As plantas absorvem vários elementos químicos que estão presentes e disponíveis no solo, como os macros e micronutrientes que estudamos na Seção 1.3. Mas, as plantas não absorvem somente os elementos essenciais ao seu desenvolvimento, existem outros elementos químicos não essenciais, conhecidos como elementos benéficos ou úteis.

Os elementos benéficos atuam positivamente no ciclo de algumas espécies vegetais, provocando efeitos benéficos na produção agrícola, apesar de não serem essenciais. São conhecidos como os elementos minerais que podem estimular o crescimento de vegetais, ou apenas são para alguns grupos de plantas em condições específicas. Alguns desses elementos químicos são:

Sódio (Na), Silício (Si), Cobalto (Co), Selênio (Se) e Vanádio (V). É importante ressaltar que vários estudos consideram diferentes nutrientes benéficos e tóxicos às plantas, por isso, em algumas literaturas, você achará outros elementos que não foram citados aqui e também não encontrará os que incluímos nesta seção.

Entre os elementos químicos benéficos está o Sódio, que é absorvido pelas plantas como Na^+ , que não é reconhecido como um elemento químico essencial para grande parte dos vegetais, entretanto, sua essencialidade vem sendo observada para algumas espécies do gênero *Atriplex*. Alguns estudos mostraram que o íon Na^+ pode ser um substituto do nutriente Potássio em algumas funções referentes ao equilíbrio iônico interno das plantas, por apresentar comportamento similar a ele.

Dessa forma, nas funções do sódio para as plantas, é importante que sejam ressaltados três aspectos: a essencialidade para algumas espécies vegetais, seu papel no crescimento adicional da planta e, ainda, sua extensão para substituir a função do Potássio.

Entre as funções deste elemento, pode-se ressaltar: abertura estomatal, manutenção do balanço de água, em baixas concentrações favorece a absorção de K^+ e, ainda, atua como ativador enzimático.



Exemplificando

Conforme abordado, em algumas situações, o Sódio pode ser um possível substituto do Potássio, especialmente em reações enzimáticas, onde não haja exigência absoluta de K, e nos seus efeitos osmóticos.

As plantas podem ser divididas em quatro grupos, de acordo com a sua resposta ao Sódio:

Grupo A – São aquelas plantas em que o Sódio substitui a maior parte das funções do Potássio, e ocorre um crescimento adicional do vegetal, cujo aumento do Potássio não conseguiria provocar esse efeito.

Grupo B – São aquelas plantas em que o efeito do Sódio de substituir o Potássio é menor do que o ocorrente no grupo A.

Grupo C – São aquelas plantas em que apenas uma pequena proporção de Potássio pode ser substituída pelo Sódio, sem que ocorra alteração da produção, ou seja, não prejudica o vegetal.

Grupo D – São aquelas plantas em que nenhuma substituição do Potássio pelo Sódio pode ser feita sem afetar a produção.

O Silício (Si) é um elemento benéfico com grande abundância, sendo o segundo elemento em maior quantidade na litosfera. É absorvido pela planta na

forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) não dissociado.

Entre as funções do Silício está a proteção contra patógenos e contra perda excessiva de água pela transpiração dos vegetais. Além disso, ele tem uma importante atuação ao potencializar a tolerância das plantas quanto à toxicidade do Manganês, e ainda, amenizar a toxicidade do Ferro. Existem vários efeitos benéficos do Si para os vegetais, como a resistência à infecção por fungos e a ataque de insetos, redução da taxa de senescência foliar, maior capacidade fotossintética, além disso, a deposição de silício na parede celular do caule e de folhas pode conferir rigidez a essas estruturas na cana-de-açúcar, sorgo e arroz.

Por exemplo, para o arroz inundado, o Silício pode aumentar o poder oxidante das raízes, diminuindo a absorção e a toxidez do Fe e Mn. Isso é compreendido devido a uma melhor estruturação do aerênquima, proporcionando a oxidação destes elementos na superfície radicular.

As plantas acumulam Si de forma diferenciada, alguns grupos vegetais como as gramíneas, por exemplo, o arroz, são acumuladoras de silício com cerca de 10 a 15% da sua matéria seca de SiO_2 . Enquanto plantas como as dicotiledôneas são não acumuladoras, com número inferior a 0,5 % de SiO_2 presente na matéria seca.

O **Cobalto** é absorvido como Co^{2+} e condições específicas podem proporcionar acúmulo nos tecidos de algumas espécies vegetais. Alguns estudos evidenciaram que o elemento pode ser essencial na associação simbiótica de bactérias fixadoras de N_2 para as leguminosas.

Esse elemento participa do metabolismo dos carboidratos e das proteínas. Quando ocorre excesso de cobalto, ocorre menor absorção de ferro e manganês e os sintomas são similares aos de carência desses elementos.

Existem alguns outros elementos que apresentaram efeitos positivos para as plantas. O **Níquel (Ni)** tem a capacidade de prevenir e reduzir infecções fúngicas que resultam na ferrugem no trigo, por exemplo. Mas, o seu uso é restrito por se tratar de um metal pesado.

O **Selênio (Se)** foi considerado por muito tempo apenas como um elemento tóxico e prejudicial às plantas. Porém, seus efeitos benéficos foram evidenciados por possuir similaridade química com o Enxofre, que é um dos macronutrientes das plantas.

O **Vanádio (V)** tem sido observado como um elemento que pode provocar efeitos favoráveis nos vegetais inferiores, principalmente.



Refleta

Conforme estudamos ao longo da seção, percebemos que os efeitos benéficos dos nutrientes estão muitas vezes relacionados à sua concentração. Agora que você já conheceu como os elementos químicos absorvidos pelas plantas podem ser classificados, qual a importância do conhecimento da atuação de cada um deles para elas?

Apesar dos efeitos benéficos dos elementos químicos para as plantas que foram apontados, alguns são considerados elementos tóxicos, provocando várias consequências negativas ao desenvolvimento dos vegetais.



Assimile

Todos os elementos, até mesmo os benéficos às plantas, podem ser tóxicos aos vegetais, dependendo, principalmente, se são encontrados em grande quantidade e concentração. Por isso, fique atento para a compreensão de que o alto valor de nutrientes disponíveis pode significar um efeito negativo ao desenvolvimento das plantas.

Existem vários elementos químicos que podem ser considerados tóxicos para as plantas. Até mesmo os elementos benéficos citados acima são considerados por muitos estudiosos como tóxicos. Além disso, conforme ressaltamos, todos os elementos podem tornar-se prejudiciais aos vegetais se estiverem presentes em concentrações inadequadas. Para facilitar o estudo, selecionamos o Alumínio como elemento tóxico para que você possa aprofundar seus estudos.

O **Alumínio (Al)** é conhecido majoritariamente como um elemento tóxico para grande parte das espécies vegetais. No entanto, há alguns estudos que demonstraram que esse elemento também pode ser benéfico às plantas.

Em solos tropicais e subtropicais úmidos, com altas precipitações pluviométricas, nutrientes solúveis como cálcio, magnésio, potássio e outros elementos básicos são lixiviados. Quando a remoção de cátions básicos é maior que sua taxa de liberação pelas intempéries, o pH do solo diminui. A mineralização da matéria orgânica por microrganismos do solo resulta na liberação de nitrato e hidrogênio, ocasionando a diminuição do pH. Em pH baixo, o hidrogênio atua sobre os minerais liberando íons alumínio que ficam retidos pelas cargas negativas das partículas de argila do solo, em equilíbrio com o alumínio em solução. Assim, a quantidade de Al^{3+} em solução aumenta com a acidez do solo (BOHNEN apud GIANELLO; BISSANI; TEDESCO, 1995).

Os efeitos da toxidez nas plantas por Alumínio não são conhecidos com grandes especificações. Entretanto, o mais notável é que no sistema radicular, o elemento torna as raízes menores e com espessura maior, ou seja, as raízes tornam-se mais grossas do que o normal. Isso pode resultar em uma menor produtividade, já que as raízes diminuem sua capacidade quantitativa de absorção de água e de elementos químicos essenciais ao seu desenvolvimento que estão no solo.

Dessa forma, os sintomas de toxidez de Alumínio são notáveis nas raízes, as quais tornam-se curtas e engrossadas, quebradiças e adquirem coloração amarronzada; é desprovido de ramificações finas.



Faça você mesmo

Para reforçar seus conhecimentos, faça agora uma recapitulação do que você aprendeu durante as seções da Unidade 1 e defina: Elementos essenciais, Elementos benéficos e Elementos tóxicos.

.... Relembrando!

Elementos essenciais: são os nutrientes sem os quais a vida das plantas fica comprometida, ou seja, na sua ausência ou deficiência, os vegetais podem não sobreviver.

Elementos benéficos: não são essenciais à vida das plantas, porém podem ser importantes contribuintes para o crescimento e produção dos vegetais.

Elementos tóxicos: são aqueles que podem ou não ser um nutriente essencial à planta, na maioria das vezes sua toxicidade está relacionada à quantidade ou concentração, que prejudicará as funções dos vegetais, comprometendo seu desenvolvimento e vida.

A qualidade dos alimentos produzidos e dos produtos agrícolas como um todo é um grande desafio que a agricultura tem diariamente para conseguir suprir as necessidades e os anseios de um mercado consumidor exigente. A nutrição mineral está diretamente relacionada à resposta final de um produto a todo o processo de produção que ele passou durante o seu ciclo. Os nutrientes são um dos maiores e mais relevantes agentes que desempenham um importante papel nesse cenário. A influência da nutrição na qualidade depende da participação dos nutrientes em processos biológicos e fisiológicos da planta.

Dessa forma, entender como um elemento químico se comporta em diferentes condições adversas, como sua concentração afetará o desenvolvimento do vegetal, os efeitos benéficos e prejudiciais que podem provocar, são alguns dos questionamentos básicos que devem ser respondidos quando estudamos sobre a nutrição mineral de plantas.

Essa primeira etapa do seu estudo será imprescindível para que os tópicos seguintes sejam entendidos com maior clareza e facilidade. Lembre-se de que a ciência está sempre evoluindo e muitos dos elementos químicos estudados passam por pesquisas e eventuais novas descobertas de suas ações e efeitos, por isso, sempre busque estudá-lo.

Sem medo de errar

Caro aluno, durante esta seção você aprendeu que os elementos não essenciais também possuem um importante papel para a nutrição mineral de plantas, certo?! Além disso, importantes conhecimentos foram adquiridos sobre as plantas em relação às formas que elas respondem à interação dos diferentes elementos químicos. Agora é a hora de colocar o que você estudou em prática, respondendo aos questionamentos da situação-problema apresentada na seção.

Pedro encontrou uma situação diferente da esperada: as plantas apresentaram um agravamento no seu estado. Elas estavam nitidamente debilitadas com aparência de que estavam morrendo. Sem compreender essa reação dos vegetais à adição dos nutrientes, Pedro questionou: o que poderia ter resultado no agravamento do aspecto dos vegetais? Por que isso ocorreu? Isso pode ser solucionado? E, ainda, o que poderia ter evitado essa situação?



Atenção

Para responder a essa situação-problema, você deve estar atento a como as plantas respondem a diferentes elementos químicos que são adicionados no solo para melhorar a sua produção.

De acordo com o que pode ser observado pela descrição do estado nutricional das plantas, provavelmente Pedro adicionou uma quantidade acima do necessário de nutrientes disponíveis às plantas. Como não foi realizada nenhuma análise para saber a quantidade necessária a ser adicionada, e quais nutrientes seriam necessários, isso provavelmente pode ter ocasionado uma toxidez nas plantas muito alta que poderá ocasionar a morte desses vegetais.



Lembre-se

A quantidade correta do nutriente é um fator de extrema importância para que seja realmente atingido o resultado esperado ao ser realizada a adubação de uma plantação. Conforme estudados, além dos elementos tóxicos, todos os outros elementos químicos também podem provocar toxidez, até mesmo os essenciais e benéficos ao desenvolvimento das plantas.

Dependendo do grau de toxidade que a planta sofreu, dificilmente ela conseguirá recuperar-se. Dessa forma, a melhor solução é sempre prevenir que problemáticas iguais a essa ocorram, adotando-se um manejo planejado que considera exatamente o que a planta necessita e as quantidades corretas de cada nutriente.

Avançando na prática

Elemento benéfico para o arroz

Descrição da situação-problema

Um pesquisador estava fazendo uma análise para conhecer a nutrição mineral na cultura do arroz irrigado para encontrar e conhecer as melhores formas de melhorar a produção. Estudando sobre os nutrientes que fazem parte dessa cultura, ele ficou surpreso por encontrar um elemento diferente em sua análise. Afinal, não são apenas os elementos essenciais como os macros e micronutrientes que conseguem provocar efeitos benéficos ao desenvolvimento de várias espécies vegetais.

O pesquisador notou que o arroz inundado teve diminuição da absorção e toxidez do Fe e Mn. Isso foi atribuído a uma melhor estruturação do aerênquima, proporcionando a oxidação destes elementos na superfície radicular.

Qual seria esse elemento químico que ele encontrou? Quais os outros possíveis benefícios que esse elemento pode provocar?



Lembre-se

Você precisará colocar em prática seus conhecimentos sobre os elementos químicos benéficos ao vegetal. Se for necessário, volte aos conteúdos da seção e faça uma revisão sobre eles.

Resolução da situação-problema

O elemento em questão seria o Silício. Existem vários efeitos benéficos desse elemento químico para os vegetais, como a resistência à infecção por fungos e ao ataque de insetos, redução da taxa de senescência foliar, maior capacidade fotossintética, além disso, a deposição de silício na parede celular do caule e das folhas pode conferir rigidez a essas estruturas na cana-de-açúcar, sorgo e arroz.

1. Os elementos químicos podem ser classificados na nutrição mineral de plantas como:

- a) Elementos básicos e metais.
- b) Elementos essenciais e não essenciais.
- c) Apenas elementos essenciais fazem parte da nutrição mineral de plantas.
- d) Elementos tóxicos e metais.
- e) Elementos essenciais e gases nobres.

2. Os elementos benéficos podem ser caracterizados como:

- a) Essenciais ao desenvolvimento dos vegetais.
- b) Estão inclusos nos macronutrientes.
- c) Não essenciais, mas que favorecem algumas plantas.
- d) Não essenciais, mas como efeito benéfico a todas as plantas.
- e) Essenciais e inclusos como micronutrientes.

3. Qual dos elementos abaixo é classificado como um elemento tóxico?

- a) Cloro.
- b) Sódio.
- c) Zinco.
- d) Manganês.
- e) Alumínio.

- BOHNEN, H. Acidez e calagem. In: GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. J. (Eds.) **Princípios de fertilidade de solo**. Porto Alegre: Departamento de Solos Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1995. p. 51-76.
- CLIMATEMPO METEOROLOGIA. A importância [...] das plantas. Youtube, 2 mar. 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=0VZPU4Aja5U>>. Acesso em: 10 maio 2016.
- EMBRAPA. **Cultivo de tomate para industrialização**: deficiências nutricionais. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/deficiencias.htm>. Acesso em: 7 abr. 2016.
- _____. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.
- FARIA, L. A.; KARP, F. H. S. Selênio: um elemento essencial ao homem e aos animais e benefícios às plantas. *Informações Agronômicas*, n. 149, mar. 2015. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/67463FD70C95D9E983257E200065D187/\\$FILE/Page17-22-149.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/67463FD70C95D9E983257E200065D187/$FILE/Page17-22-149.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2016.
- FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. *Revista Agro@ambiente On-line*, v. 6, n. 1, p. 74-83, jan./abr., 2012. Disponível em: <http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/omissao_milho11.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2016.
- G1. Estudos desenvolvem bactérias para potencializar nutrientes das plantas, **G1 Petrolina**, 9 maio 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pe/petrolina-regiao/noticia/2016/05/estudos-desenvolvem-bacterias-para-potencializar-nutrientes-dasplantas.html>>. Acesso em: 9 abr. 2016.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**: nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo: Ceres, 1976. 528p.
- MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O. J. O potássio e a planta. In: POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. **Anais**, Piracicaba, Inst. da Potassa Fosfato: Inst. Internacional da Potassa, 1982. p 95-162.
- _____. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Ceres, 1987.496p.
- _____. **Manual de Química Agrícola**: Adubos e Adubação. São Paulo: Ceres, 1981. 596p.
- NACHTIGALL, G. R. Nutrição... **Nutrição mineral de plantas**. 2014. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113822/1/Gilmar-Agapomi-Dez-2014.pdf>>. Acesso em: 8 maio 2016.
- OLIVEIRA, F. Veja uma entrevista sobre a importância dos micronutrientes no solo, **Youtube**, 22 jan. 2010. Disponível: <<https://www.youtube.com/watch?v=3K7gSz3FVFM>>. Acesso em: 4 maio 2016.
- SEVERINO, L. S. et al. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 4, p. 563-568, abr. 2006. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/7175/4220>>. Acesso em: 10 maio 2016.
- SILVA, A. L. P. Nutrição mineral de plantas e suas implicações na cultura do repolho para produção agrícola. **Enciclopédia biosfera - Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 6, n. 11, 2010. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2010c/nutricao%20mineral.pdf>>. Acesso em: 2 abr. 2016.
- TAIZ, L. ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2. ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 1998, 792p.
- TERRA SUL. Conservação do solo. **Youtube**, 10 mar. 2009. Disponível: <<https://www.youtube.com/>>

watch?v=w8S3bMW9gaQ&list=PL85E8D0A88022CD77>. Acesso em: 12 maio 2016.

TVU LAVRAS. Reportagem: série conhecimento nutrientes solo. **Youtube**, 10 jun. 2011. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=XQ_7IQxqo1A>. Acesso em: 8 maio 2016.

UNIFERTIL. Nutrientes: do que as plantas precisam? **UNIFERTIL**, ano 2, n. 2, out. 2012. Disponível em: <<http://www.unifertil.com.br/admin/files/rc20121011151121.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2016.

Unidade 2

Absorção iônica de nutrientes

Convite ao estudo

Como visto na unidade anterior, as plantas precisam de alguns nutrientes em maior quantidade do que de outros, estes se classificam, respectivamente, em macronutrientes e micronutrientes. Contudo, para que essa necessidade das plantas seja suprida, é preciso compreender também as formas de absorção dos nutrientes, pois alguns fatores como classe textural do solo, forma iônica, pH, compactação, entre outros, interferem na disponibilidade daqueles, ou seja, apenas a prática da adubação não é garantia de que as plantas estão recebendo nutrientes.

Para continuar desenvolvendo sua competência de conhecer os fundamentos de química de solo e nutrição mineral de plantas, com ênfase no uso sustentável de recursos naturais e conservação do solo e da água, nesta unidade, você será capaz de conhecer e analisar os principais nutrientes que contribuem para o desenvolvimento das plantas. Dessa forma, espera-se que a partir da Unidade 2, você compreenda como e quando aplicar os fertilizantes, a fim de que a eficiência agrônômica da cultura seja alcançada, visando sempre o uso racional dos recursos naturais adquiridos.

Atente-se para a situação hipotética desta unidade:

Ricardo é um professor recém-aposentado que decidiu dedicar-se ao ramo agrícola, pois sempre teve o desejo de cultivar comercialmente frutas nativas da sua região. Entretanto, ele iniciou o projeto sem orientação técnica, baseando-se apenas no conhecimento empírico de sua família. Ele realizou, por conta própria, a limpeza da área de plantio, aquisição de insumos (sementes e fertilizantes) e o preparo das mudas. Ricardo selecionou duas espécies para trabalhar inicialmente, o mangostão, com sistema radicular do tipo pivotante, e o coqueiro, com raiz do tipo fasciculada. Como ele tinha várias dúvidas sobre o desenvolvimento dessas culturas, decidiu contratar um serviço de consultoria agrícola, você foi selecionado como o engenheiro agrônomo responsável. Entre os questionamentos, estavam: a partir das diferenças entre as raízes das espécies, espera-se alguma distinção na absorção dos nutrientes? Quais as formas de absorção? Quais fatores irão interferir na dinâmica dos nutrientes? Como associar a absorção dos nutrientes com os diversos fatores que a afetam?

Para esclarecer esses questionamentos e muitos outros, durante o estudo da Unidade 2, você acompanhará Ricardo em sua propriedade e, ao final, deverá entregar a ele um levantamento sobre os fatores abióticos que influenciam na disponibilidade de nutrientes no solo. Esse relatório ajudará você a colocar em prática seus conhecimentos sobre os assuntos abordados na Unidade 2, entre eles, os fenômenos da absorção iônica radicular e foliar e os fatores intrínsecos e extrínsecos aos vegetais que interferem no processo de absorção, que, por sua vez, devem ser considerados no planejamento da adubação.

Absorção iônica radicular

Diálogo aberto

Olá, aluno! Seja bem-vindo!

Já estudamos o conceito de nutriente, como são classificados de acordo com a quantidade necessária ao desenvolvimento das plantas e o critério de essencialidade para que um elemento químico seja considerado um nutriente. Mas, afinal, como os vegetais absorvem os nutrientes? Somente pela raiz? Como ocorre esse processo? Há limitações para sua ocorrência?

Como situação-problema desta seção, partiremos do pressuposto de que depois de plantar as mudas no campo, foi realizada a adubação de cobertura. Ricardo ouviu dizer que o Potássio (K) “era bom para induzir a frutificação”, por isso, reforçou a dose do fertilizante KCl, o qual é muito solúvel, de custo baixo e de uso bastante difundido. A aplicação ocorreu nas plantas de ambas as espécies, no período de menor regime de chuvas. No decorrer do tempo, ele percebeu que uma grande quantidade de plantas estava murcha, notadamente a espécie do coqueiro (de sistema radicular fasciculado), o que causou um retardo no desenvolvimento desta. Como Engenheiro Agrônomo responsável, você precisa responder alguns dos questionamentos de Ricardo: a dose de fertilizante, sem uma análise da quantidade correta, pode ser um dos fatores que interferiram no desenvolvimento dos vegetais? Como isso pode ocorrer? A murcha observada nos coqueiros está associada à morfologia da raiz da espécie?

Como a adubação ocorreu em um período de menor precipitação, Ricardo pensou que a murcha foi provocada pela baixa frequência das chuvas na área. Contudo, sabemos que existe uma interação complexa no sistema solo-planta-atmosfera que precisa ser avaliada. Logo, não podemos atribuir tal consequência a um componente isolado. Nesta seção, entenderemos que o local de aplicação do adubo depende da mobilidade do nutriente no solo, que por sua vez, implica na forma como são absorvidos. Também veremos que a absorção pode apresentar características diferentes entre as espécies.

Inicialmente, vamos entender como as plantas captam os nutrientes, necessários para a produção de energia demandada para o seu crescimento, desenvolvimento e metabolismo. Nesse processo há gasto de energia, pois existem diferentes mecanismos para a entrada do nutriente na planta, e estas têm a capacidade de “escolher” a forma química em que o nutriente será preferencialmente absorvido.

Quando estudamos a nutrição de plantas, o foco é bastante direcionado aos nutrientes, entretanto, o modo de absorção delas é um fator tão importante quanto os elementos químicos absorvidos. Dessa forma, conhecer a anatomia das raízes é muito relevante, não somente para compreender o percurso dos nutrientes dentro dos vegetais, mas, principalmente, porque graças a uma característica anatômica da raiz é que a planta passa a gastar energia para completar a absorção do nutriente.

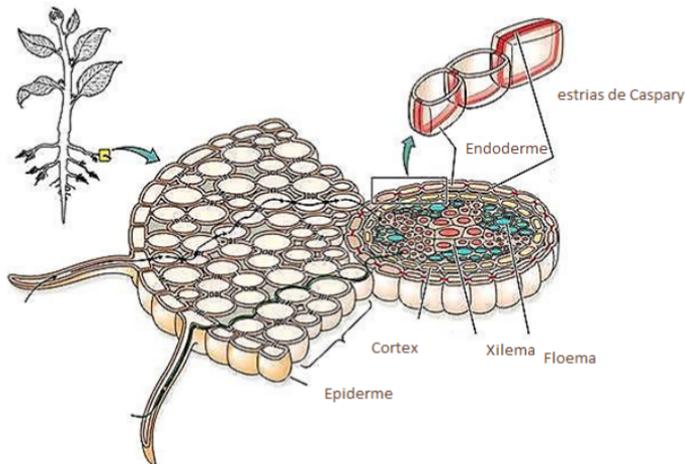


Exemplificando

Entre os processos que estão envolvidos na nutrição de plantas estão, por exemplo, a absorção que ocorre com a introdução de um elemento na forma iônica ou molecular, no espaço intercelular ou qualquer região ou organela da célula viva da epiderme, córtex ou endoderme. Já no transporte, o elemento é transferido de uma parte da planta para outra qualquer. E a redistribuição é caracterizada pela passagem do elemento químico de uma área de acúmulo deste para outra área igual ou forma similar ou diferente da absorvida, por exemplo de uma folha para outra folha ou para o fruto).

A raiz é constituída por vários tipos de células. A epiderme é uma camada de células mais superficiais, compactas e com pelos absorventes. O parênquima cortical possui diversas camadas de células com espaço entre elas. Já a endoderme é uma camada única de células compactadas que apresentam estrias de Caspary nas paredes celulares. Essas estrias são como cintas de celulose que unem firmemente às células vizinhas, vedando completamente os espaços entre elas. Assim, para penetrar no cilindro central, toda e qualquer substância tem de atravessar diretamente as células endodérmicas, uma vez que as estrias de Caspary fecham os interstícios intercelulares. Esse é um reforço de suberina nas estruturas que impedem a passagem dos íons pelas paredes e espaços intercelulares. Por fim, há o cilindro central composto por células adensadas que circundam e protegem os vasos condutores de xilema e floema.

Figura 2.1 | Esquema mostrando os tipos de células da raiz, em destaque as estrias de Caspary



Fonte: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgEkUAJ/anatomia-raiz>>. Acesso em: 7 jun. 2016.

A absorção de nutrientes pelas plantas consiste no processo pelo qual o nutriente passa do substrato, seja este o solo ou solução nutritiva, para a parte interna do vegetal, por meio da raiz ou folha. Nesta seção, discutiremos os mecanismos de absorção iônica pelo sistema radicular. Para que esta absorção ocorra, é necessário que haja a aproximação e contato do íon-raiz, que pode acontecer de três formas: interceptação radicular, fluxo de massa e difusão.

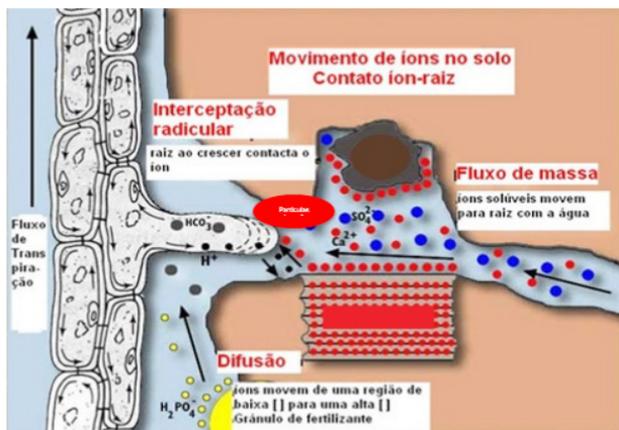


Vocabulário

Íon: são moléculas com cargas positivas ou negativas. É nesta forma que os nutrientes são absorvidos pelas plantas. Exemplo: Ca^{2+} , NO_3^- , H_2PO_4^- .

A interceptação radicular ocorre quando a raiz está se desenvolvendo e encontra o íon na fase líquida ou sólida do solo. Já o fluxo de massa ocorre por meio da transpiração das plantas, pois cria-se um gradiente de potencial de água entre o solo e o sistema radicular. Dessa forma, os íons são carregados na fase líquida móvel do solo em direção à rizosfera. Na difusão, o nutriente desloca-se por curtas distâncias, aproximadamente 10 mm dentro de uma fase líquida estacionária de uma região de maior concentração para uma de menor concentração.

Figura 2.2 | Esquema mostrando os tipos de contato íon/raiz



Fonte: adaptada de: <<http://www2.mcdaniel.edu/Biology/botf99/nutrition/ionmove.jpg>>. Acesso em: 7 jun. 2016.

Durante muito tempo, entendia-se que a difusão era a forma de contato mais frequente no solo, pois o nutriente direciona-se a favor do gradiente de concentração. Contudo, ao comparar análises do suco celular e do meio em que estavam diferentes espécies, constatou-se que aquela é mais concentrada e que havia seletividade na absorção dos nutrientes. Assim, o avanço das pesquisas definiu que a absorção é caracterizada pelos seguintes fatores: seletividade, acumulação e genótipo.

Na seletividade, certos elementos são absorvidos preferencialmente, consequência da afinidade do carregador que atua na membrana transportando solutos, essa interação torna a absorção mais específica. Na acumulação, a concentração dos nutrientes, de modo geral, é maior no suco celular do que no meio externo. E no genótipo, a absorção acontece de forma diferente entre as espécies, pois vegetais que contêm maior quantidade de grupos carboxílicos (R-COO^-) nas paredes celulares das raízes, têm maior CTC (Capacidade de Troca Catiônica), resultando em uma maior capacidade de reservar cátions que favorecem sua subsequente absorção. Escalonado a contribuição de cada um desses tipos de contato do íon-raiz, temos a seguinte ordem:

$$\text{Interceptação radicular} < \text{Fluxo de massa} = \text{Difusão}$$



Assimile

A interceptação radicular é a de menor contribuição porque a quantidade de nutrientes absorvidos é proporcional ao volume de solo ocupado pelas raízes, de 0,4 a 2%, ou seja, a quantidade de nutriente em contato direto com as raízes é ínfima diante do requerido pelas plantas. O fluxo de massa e difusão são equivalentes em importância porque ambos conseguem atender

a demanda nutricional da planta. Isso foi evidenciado nos resultados de um estudo que verificou a contribuição relativa dos três processos de absorção, utilizando o milho como planta-teste. Concluíram que o fluxo de massa é mais importante para o nitrogênio (N), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e para os micronutrientes, cobre (Cu), ferro (Fe) e molibdênio (Mo). A difusão, por sua vez, é mais importante para o fósforo (P), potássio (K) e para os micronutrientes, manganês (Mn) e zinco (Zn).

Tabela 2.1 | Contribuição relativa da interceptação radicular, do fluxo de massa e da difusão no fornecimento de nutrientes para as raízes do milho num solo barro limoso

Íon	Absorção ¹ ---(Kg/ha)---	Quantidades fornecidas por		
		Intercepção -----	Fluxo de massa (Kg/ha)	Difusão -----
N(NO ₃)	170	2	168	0
P(H ₂ PO ₄)	35	0,9	1,8	36,3
K(K)	175	3,8	35	136
Ca(Ca ²⁺)	35	66	175	0
Mg(Mg ²⁺)	40	16	105	0
S(SO ₄ ²⁻)	20	1	19	0
Na(Na ⁺)	16	1,6	18	0
B(H ₃ BO ₃)	0,20	0,2	0,70	0
Cu(Cu ²⁺)	0,16	0,01	0,35	0
Fe(Fe ²⁺)	1,90	0,22	0,53	0,17
Mn(Mn ²⁺)	0,23	0,11	0,05	0,08
Mo(HMO ₄)	0,01	0,001	0,02	0
Zn(Zn ²⁺)	0,30	0,11	0,53	0

Fonte: Barber (1966); Malavolta (1980).



Refleta

Por que você acha que acontece essa predominância de alguns nutrientes em determinado tipo de absorção? No que essa característica interfere?

Após o contato do íon-raiz, inicia-se a absorção, que ocorre em duas fases distintas: fase passiva (sem gasto de energia) e fase ativa (com gasto de energia). Na fase passiva, a entrada do elemento na epiderme da raiz se dá pelos espaços intercelulares, parede celular e superfície externa da plasmalema, essas regiões correspondem ao Espaço Livre Aparente (ELA). Nessa fase, não há gasto de energia, pois o nutriente desloca-se de uma região de maior concentração, solução externa, para outra de menor concentração. A fase ativa corresponde à travessia do elemento pela plasmalema e tonoplasto. Esse processo ocorre contra o gradiente de concentração. Logo, há gasto de energia pela célula e esta é fornecida pela respiração.



Vocabulário

Plasmalema: Membrana que envolve o citoplasma.

Tonoplasto: Membrana que envolve o vacúolo.

A teoria do carregador é a mais aceita para explicar a fase ativa de absorção. Para a teoria, um íon, para ser absorvido, requer uma ligação específica com um “carregador”. Supõe-se que esse papel seja exercido pelas proteínas que se estendem pela membrana, pois elas formam canais entre as duas faces: interna e externa. A diferença entre os dois mecanismos não se limita ao gasto ou não de energia.

Quadro 2.1 | Aspectos básicos que caracterizam a fase passiva e ativa de absorção iônica

FASE PASSIVA	FASE ATIVA
Processo químico ou físico ocorre em sistemas vivos ou não.	Processo metabólico, só ocorre em célula viva.
Não está ligado à respiração e fosforilação.	Está ligado à respiração e fosforilação, pois utiliza a energia produzida.
É espontâneo.	Não é espontâneo.
Velocidade rápida.	Velocidade lenta.
Processo reversível.	Processo irreversível.

Fonte: Faquin (2005, [s.p.]).

A diferença morfológica das raízes implica na eficiência de absorção, pois quando elas são bem desenvolvidas, mais finas, bem distribuídas, com maior proporção de pelos absorventes, como raízes do tipo fasciculado que a cultura do coqueiro possui, conseqüentemente, essa cultura é mais eficiente para absorver - especialmente aqueles nutrientes de baixa mobilidade no solo, cujo contato íon-raiz se dá essencialmente por difusão - do que a cultura do mangostão que possui sistema radicular pivotante.



Pesquise mais

Saiba mais sobre os mecanismos de absorção das plantas. Leia este artigo, ele é uma importante referência, frequentemente citada nos estudos de nutrição mineral de plantas:

OLIVEIRA, R. H.; ROSOLEM, C. A; TRIGUEIRO, R. M. A Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçoso, n. 28, p. 439-445, 2004.

Caro aluno, com os conhecimentos adquiridos nesta seção, você terá base para prosseguir com os estudos das próximas seções que irão aprofundar alguns temas específicos relacionados à absorção iônica de nutrientes pelas plantas.

Sem medo de errar

Agora que você compreende a absorção iônica radicular, vamos analisar a situação-problema exposta no início dessa seção. Como a adubação em campo foi realizada em período seco e, como vimos, a presença de água é de extrema importância para a promoção do contato íon-raiz, que ocorre predominantemente por fluxo de massa e/ou difusão, sabemos que a aproximação não será realizada e, conseqüentemente, a absorção por interceptação radicular não será suficiente para suprir as necessidades hídricas e nutricionais dos vegetais.

Além disso, a dose do fertilizante KCL, sem uma correta identificação da quantidade adequada, aplicada de modo concentrado no solo, pode potencializar o estresse hídrico da planta, pois a concentração de nutrientes na solução do solo tornou-se maior que a das raízes (processo inverso à difusão), por meio do transporte da água e nutrientes das células para o solo.

A murcha foi mais severa no coqueiro porque suas raízes, fasciculadas, ocupam, superficialmente, maior volume de solo, diferentemente das raízes pivotante do mangostão que crescem em profundidade, alcançando maiores distâncias para a captação de água. Por esse motivo, as raízes do coqueiro foram mais atingidas pelo fertilizante do que as do mangostão.

Os nutrientes como o fósforo (P) e potássio (K), essenciais à planta, são absorvidos principalmente por difusão. Se não há água transportando-os, pode ocorrer baixa disponibilidade desses elementos, o que é intensificado com a aplicação desmedida de fertilizantes, realizada sem a prévia análise de solo. Podemos atribuir a prática de adubação, sem a consideração das características das plantas (morfologia das raízes), como o motivo do prejuízo ao produtor.



Atenção

Como enfatizado anteriormente, a estiagem agravou a condição apresentada. Podemos observar que existem muitos fatores que afetam na absorção radicular dos nutrientes, como a água, no caso da situação-problema apresentada.

Planejando o sistema

Descrição da situação-problema

Uma multinacional produtora da commodity soja possui fazendas em duas cidades diferentes. Estas enfrentam um período de fortes chuvas, mas se diferem principalmente nas classes de solo ocorrentes (cidade - polo A: textura predominantemente arenosa. Esse tipo de solo contém poros de maior tamanho, fazendo com que a infiltração ocorra com maior velocidade; e a cidade - polo B: textura mais argilosa, apresenta poros de menor diâmetro por meio da qual a infiltração, diferentemente dos solos arenosos, se dá de forma mais lenta, o que possibilita maior disponibilidade de recurso hídrico para as plantas).

Você é o diretor de operações agrícolas da empresa e responsável pelo manejo de adubação dos dois polos. Para alcançar uma produtividade esperada, você deve buscar soluções para otimizar a produção, dentre elas, o fornecimento de nutrientes para os vegetais. Além disso, a empresa, a fim de alcançar melhor preço no mercado internacional e melhorar o processo de armazenamento do grão, deseja uniformizar a qualidade de seu produto a partir da sincronia da safra nos diferentes polos de produção. Nesse contexto, você acha possível adotar o mesmo manejo nas regiões? Considerando apenas o tema abordado nesta seção, quais seriam os fatores de você consideraria relevante?



Lembre-se

Os campos de produção diferem quanto à classe textural do solo, as adubações devem seguir as recomendações técnicas para cada situação em particular.

Resolução da situação-problema

Uma das soluções para essa situação é sincronizar a produção. Caso os polos estivessem em regiões distintas, essa questão não seria tão facilmente respondida, pois é preciso atentar-se para as particularidades de cada local. O primeiro procedimento a ser realizado é o reconhecimento da área, já sabemos que as cidades estão sobre o mesmo regime de chuva, o que é uma informação importante, pois a água é um fator fundamental para a nutrição de plantas. Contudo, a capacidade de armazenamento da água nos solos é diferente, pois o do polo A é arenoso e do polo B é mais argiloso.

Considerando apenas a característica dos solos, sabemos que no polo A a infiltração da água, será mais rápida e em maior quantidade, ocasionando um aumento na lixiviação dos nutrientes (perda dos nutrientes para camadas mais profundas do solo ou lençol freático), reduzindo sua reserva disponível às plantas. Como as principais formas de contato íon-raiz, difusão e fluxo de massa ocorrem em meio líquido, é evidente que um déficit hídrico nesses solos comprometeria a adequada nutrição do plantio. Dessa forma, para uma boa nutrição mineral, o responsável deve considerar as particularidades de cada uma das áreas, já que o tipo de solo é um fator que interfere na disponibilidade dos nutrientes.



Faça você mesmo

Agora que você já sabe como ocorre a absorção radicular dos nutrientes pelas plantas, você acha que um tipo de raiz pode ser mais eficiente na absorção de nutrientes do que outros?

Faça valer a pena

1. Quais são essas formas?

- a) Difusão, fase ativa e fluxo de massa.
- b) Interceptação radicular, simplasto e difusão.
- c) Difusão, fluxo de massa e interceptação radicular.
- d) Fluxo de massa, fase passiva e fase ativa.
- e) Simplasto, difusão e seletividade.

2. Para chegar ao vacúolo, qual o caminho percorrido pelo íon na fase ativa da absorção?

- a) Epiderme, plasmalema e parede celular.
- b) Plasmalema, parede celular e citoplasma.
- c) Espaço intercelular, parede celular e tonoplasto.
- d) Tonoplasto, parede celular e espaço intercelular.
- e) Plasmalema, citoplasma e tonoplasto.

3. Em qual forma química os nutrientes são absorvidos preferencialmente pelas plantas?

- a) Iônica.
- b) Orgânica.
- c) Somente com cargas positivas.
- d) Somente com cargas negativas.
- e) Principalmente orgânica.

Fatores que afetam a absorção radicular

Diálogo aberto

Olá, aluno!

Na seção anterior, aprendemos como os nutrientes podem ser absorvidos pelas raízes, além de importantes informações de como esse processo ocorre, certo? Também estudamos brevemente sobre os fatores que afetam a absorção, como o excesso ou deficiência de água no solo. Curioso para saber mais sobre a absorção radicular das plantas? Nesta seção conheceremos mais sobre os fatores que interferem na absorção radicular dos nutrientes e da água pelas plantas. Estes podem ser próprios da planta, como a morfologia das raízes, a taxa de transpiração, o nível de carboidratos acumulado e seu potencial genético, e também podem estar ligados ao meio em que o vegetal está presente, como temperatura, umidade, pH, a interação entre os íons na rizosfera, os nutrientes disponíveis no solo e a presença de fungos micorrízicos. Dessa forma, como eles agem dentro do sistema solo-planta-atmosfera? De modo isolado? Qual sua importância e quais distúrbios podem acarretar o seu desequilíbrio?

Veremos alguns efeitos desses fatores com a nova situação hipotética desta seção:

Durante o período das chuvas, Ricardo constatou que havia poças de água em seu pomar e que as plantas que se encontravam nos ambientes alagados estavam murchando, enquanto outras já estavam mortas. Nas plantas mortas, ele percebeu que as raízes estavam enegrecidas, sendo assim, levou-as até você, o engenheiro agrônomo responsável, para que você ajude-o a compreender o que aconteceu com esses vegetais. Alguns dos questionamentos de Ricardo são: Quais fatores podem ter levado essas raízes a apresentarem os sintomas citados? Será que a drenagem do solo interferiu para a morte das plantas? Quais os efeitos prejudiciais da condição de alagamento?

Nesta seção, estudaremos diversos fatores externos que afetam a disponibilidade dos nutrientes, como o pH, aeração, temperatura, umidade, interação entre íons e micorrizas. Além de fatores internos, como a potencialidade genética, nível de carboidrato e intensidade transpiratória. Dessa forma, para que você consiga compreender quais aspectos são importantes na absorção radicular das plantas e propor soluções para os questionamentos de Ricardo, vamos estudar os fatores externos e internos que interferem na absorção radicular das plantas.

Bons estudos!

Existem vários fatores que interferem na produção agrícola, de acordo com César et al. (1987), os principais são os de interação edafoclimática, o manejo da cultura e a planta escolhida para produzir. Os fatores são constantemente estudados sob diferentes aspectos, no processo de absorção são analisados os fatores externos (disponibilidade de nutrientes, pH, temperatura, umidade, características do próprio nutriente e aeração) e internos à planta (potencial genético, morfologia da raiz, transpiração e nível de carboidrato).

Os fatores externos são aqueles referentes ao meio ambiente em que a planta está inserida. A disponibilidade dos nutrientes para as plantas é um fator externo que pode ser afetado pela interação com diversos outros. Dessa forma, o primeiro fator de destaque é a disponibilidade de nutrientes, pois para que sejam absorvidos, eles precisam estar na forma química específica e em contato com a raiz. Por exemplo, o cálcio é absorvido na Ca^{+2} , o potássio como K^+ e boro como H_3BO^{3-} .

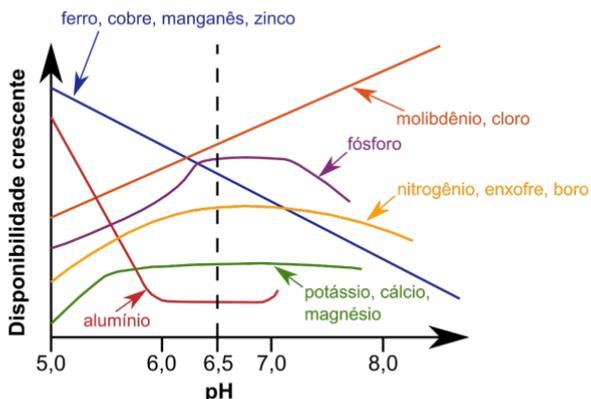


Refleta

Os nutrientes possuem uma forma química específica para que sejam absorvidos pelas plantas. Dessa forma, como você acha que isso pode afetar o desenvolvimento dos vegetais?

Outro importante fator que está diretamente ligado à disponibilidade dos nutrientes é o pH, um dos principais responsáveis para que isso aconteça, pois apresenta efeitos direto e indireto. De forma direta, consiste na competição de íons de hidrogênio (H^+) com outros cátions, em condições ácidas, e de OH^- com outros ânions, em condições alcalinas, pelos mesmos sítios de troca nos coloides do solo. O efeito indireto do pH se dá no aumento ou redução da disponibilidade do nutriente na solução do solo, por exemplo, a faixa ideal para a absorção dos nutrientes pela planta é de 5,5-6,5 (Figura 2.3), pois o teor de alumínio, ferro, cobre, manganês e zinco, que são prejudiciais à planta em elevadas concentrações, estão em baixa disponibilidade, enquanto que os macronutrientes estão em disponibilidade crescente ou estável.

Figura 2.3 | Disponibilidade dos nutrientes em função do pH



Fonte: adaptada de Malavolta (1979, [s.p.]).

Outro fator externo é a aeração. Como o solo é constituído por macros e microporos, por onde ocorre a circulação de ar e água, os solos não compactados têm boa porosidade, favorecendo a circulação de oxigênio (O_2) (Figura 2.4). Dessa forma, o ambiente torna-se propício para a vida da microfauna que, por sua vez, contribui para a manutenção dessa aeração e decomposição da matéria orgânica, disponibilizando nutrientes para o vegetal. Quando ocorre pouca aeração, ou seja, redução da disponibilidade de oxigênio, reduz-se também a taxa de respiração do vegetal, isso pode causar morte das plantas pelos danos que as raízes sofrem. Essa condição de anaerobiose pode ocorrer quando há acúmulo de água nas raízes por alagamentos, por exemplo.

A temperatura é um fator que estimula o aumento da absorção até certo limite, pois à medida que a temperatura progride, o metabolismo da planta acelera e, por sua vez, a absorção também aumenta para poder suprir a demanda, cada vez maior, da planta por nutrientes. Geralmente, a absorção cresce linearmente com a temperatura na faixa de 0 a 30 °C, após isso ela estabiliza ou decresce.

Já a umidade do solo é um dos fatores de grande relevância que afetam a absorção, visto que a água, além de ser o veículo pelo qual os elementos absorvidos são transportados para a parte interna da planta, também é necessária para a mineralização da matéria orgânica pelos microrganismos. Além disso, as características do solo são outro fator de relevância na absorção de nutrientes, a compactação do solo, por exemplo, pode interferir no desenvolvimento das raízes, tornando a busca pelos nutrientes dificultada, uma vez que as raízes não conseguem uma adequada penetração do solo, limitando assim o seu desenvolvimento e sua busca por água e nutrientes em camadas mais profundas do solo.

Figura 2.4 | Comparação do desenvolvimento da raiz de uma planta em solo compactado (A) e não compactado (B)



Fonte: Gontijo Neto (2013, [s.p.]).

A quantidade de água infiltrada é outro fator que pode ser destacado, pois quando a penetração da água no solo é deficiente, seu acúmulo pode contribuir na proliferação de agentes nocivos às raízes e no seu apodrecimento.

A velocidade de absorção dos nutrientes depende, em partes, de um cada deles, por causa das diferenças existentes entre os ânions: $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{H}_2\text{PO}_4^-$; e entre os cátions: $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$. A interação entre íons interfere na velocidade de absorção destes, pois ela pode ser alterada pela presença de outro íon. O antagonismo é quando um nutriente diminui a absorção do outro, podendo reduzir a toxidez de um deles. Já a inibição é quando a presença de um nutriente em excesso impede a absorção de outro, enquanto que no sinergismo um nutriente aumenta a absorção de outro (Tabela 2.2).



Exemplificando

Os micronutrientes Zn e Cu são antagonônicos. A presença de um diminui a absorção do outro. Já o N e Mg são sinérgicos. A baixa concentração de N nas folhas é verificada quando os teores de cálcio (Ca) estão altos.

Tabela 2.2 | Exemplos de efeitos de interações iônicas

Íon	Segundo Íon Presente	Efeito do segundo sobre o primeiro
$\text{Mg}^{2+}, \text{Ca}^{2+}$	K^+	Inibição competitiva
H_2PO_4^-	Al^{3+}	Inibição não competitiva
$\text{K}^+, \text{Ca}^{2+}$	Al^{3+}	Inibição competitiva
H_2BO_3^-	$\text{NO}_3^-, \text{NH}_4^+$	Inibição não competitiva
K^+	Ca^{2+} (alta concentração)	Inibição competitiva
SO_4^{2-}	SeO_4^{2-}	Inibição competitiva
SO_4^{2-}	Cl^-	Inibição competitiva
MoO_4^{2-}	SO_4^{2-}	Inibição competitiva
Zn^{2+}	Mg^{2+}	Inibição competitiva
Zn^{2+}	Ca^{2+}	Inibição competitiva
Zn^{2+}	H_2BO_3^-	Inibição não competitiva
Fe^{2+}	Mn^{2+}	Inibição competitiva
Zn^{2+}	H_2PO_4^-	Inibição competitiva
K^+	Ca^{2+} (baixa concentração)	Sinergismo
MoO_4^{2-}	$\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$	Sinergismo
Cu^{2+}	MoO_4^{2-}	Inibição não competitiva

Fonte: Malavolta et al. (1989, [s.p.]).

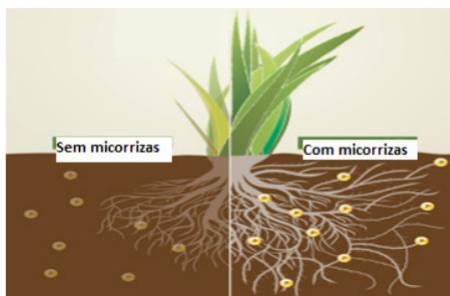
As micorrizas são associações de fungos do solo com as raízes dos vegetais formando uma relação de simbiose. A planta, por meio do processo da fotossíntese, contribui para o desenvolvimento dos fungos ao fornecer carbono e energia. Os fungos, por sua vez, absorvem nutrientes minerais e água do solo, transferindo-os para as raízes das plantas. Essa associação promove a maximização da capacidade de exploração do solo pelas plantas, pois a superfície de absorção das raízes é aumentada (Figura 2.5). Vários trabalhos constataram os benefícios do uso da micorrização em culturas agrícolas, principalmente em relação à absorção de fósforo (P), um nutriente com baixíssima mobilidade e disponibilidade no solo.



Vocabulário

Simbiose: interação entre duas espécies que vivem juntas e proporcionam benefícios mútuos, contribuindo para a sobrevivência dos indivíduos envolvidos.

Figura 2.5 | Comparação de plantas sem e com simbiose com fungos micorrízicos



Fonte: <<http://groundworkbioag.com/technology/what-is-mycorrhiza/>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

Além dos fatores externos, existem também aqueles que são intrínsecos à planta, ou seja, fatores internos. O potencial genético é um deles e influencia na absorção dos nutrientes, que ocorre de forma diferente entre as espécies e variedades. Essa diferença é observada por meio dos valores dos parâmetros cinéticos, que são valores matemáticos construídos para explicar a medida da afinidade dos carregadores pelo íon a ser transportado na fase ativa de absorção (K_m), a velocidade máxima de absorção (V_{max}) e a concentração limite abaixo de qual a planta é incapaz de absorver o íon (C_{min}). Tais parâmetros têm se mostrado como uma valiosa ferramenta na avaliação da eficiência de absorção. O K_m e V_{max} são parâmetros cinéticos de absorção característicos da própria planta, conferindo a ela uma maior ou menor capacidade de absorção do elemento em uma dada concentração no meio. Outras características que dependem do potencial

genético das plantas são: sua capacidade de solubilização dos elementos na rizosfera, a partir de excreções radiculares; e, também, sua capacidade de modificar a valência do Fe^{+3} para Fe^{+2} , o que aumenta a solubilidade e absorção desse nutriente.



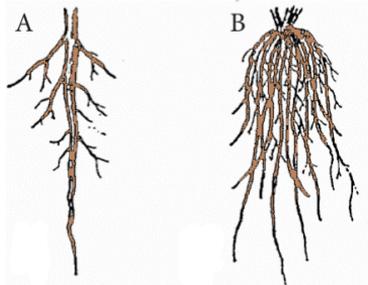
Assimile

Na seção anterior, já havíamos estudado que o potencial genético da planta influencia o processo de absorção, pois plantas que contêm maior quantidade de grupos carboxílicos (R-COO-) nas paredes celulares das raízes têm maior CTC (Capacidade de Troca Catiônica), resultando em uma maior reserva de cátions, o que favorece sua subsequente absorção. Logo, há diferença entre esta e as outras capacidades supracitadas, de acordo com o genótipo das plantas.

O nível de carboidrato também interfere na absorção de nutrientes, pois os carboidratos são as fontes de energia mais imediata. Dessa forma, quanto maior o acúmulo de carboidratos, maior o nível metabólico das plantas e, conseqüentemente, maior será a absorção. Já a transpiração age indiretamente na absorção, pois quanto mais transpiração houver, maior será o gradiente de umidade na rizosfera, favorecendo o aumento do fluxo de massa para a raiz. E finalmente o último fator, a morfologia das raízes, estas são mais eficientes para absorver quando bem desenvolvidas, mais finas, bem distribuídas e com maior proporção de pelos absorventes, especialmente aqueles nutrientes de baixa mobilidade no solo, cujo contato íon-raiz acontece essencialmente por difusão.

A morfologia da raiz também pode ajudar as plantas na busca de nutrientes para sua absorção. O tipo pivotante apresenta raízes com maior comprimento, penetrando mais verticalmente no solo, o que pode contribuir na absorção de água e nutrientes nas camadas mais profundas. Já as raízes fasciculadas, como das gramíneas, se distribuem horizontalmente e conseguem agregar-se às partículas do solo com mais superficialidade.

Figura 2.6 | Exemplos de sistema radicular: tipo pivotante (A) e raízes fasciculadas (B)



Fonte: <<https://cidadesquerespiram.files.wordpress.com/2014/01/pivo-e-axi.png?w=443>>. Acesso em: 20 maio 2016.

Como você pode notar, os fatores externos e internos às plantas podem afetar significativamente o desenvolvimento dos vegetais. Em uma produção agrícola é necessário que estes sejam considerados para que o manejo adotado proporcione uma adequada absorção dos nutrientes e, conseqüentemente, o desenvolvimento esperado das plantas.

Sem medo de errar

Para resolver esta situação-problema, precisamos recordar que depois de receber aração e/ou gradagem, o terreno, sua estrutura física, não se comporta de maneira uniforme, o que pode ser evidenciado no contexto da situação-problema, em que na época das chuvas ocorreu o acúmulo de água devido à compactação do solo em alguns pontos.

As plantas murchas e já mortas encontravam-se em anaerobiose. Nessa condição, há redução da disponibilidade de oxigênio e, conseqüentemente, reduz-se a taxa de respiração do vegetal. Como estudamos, a aeração é um dos fatores externos que alteram a forma de absorção pelas raízes. Além do comprometimento da respiração, a escassez de oxigênio no meio reduz a permeabilidade da raiz, ou seja, os macros e micronutrientes deixam de ser absorvidos pelas plantas, favorecendo o acúmulo de toxinas que alteram o pH neste meio nutritivo.

De acordo com Reichardt (1996), a disponibilidade de água no solo governa a produção vegetal, assim, sua falta ou excesso afeta de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas, pois alteram a absorção dos nutrientes e da própria água (HUMBRET, 1968). As raízes reduzem a absorção de nutrientes por três motivos: devido ao seu sistema radicular tornar-se menos permeável, conseqüência da falta de oxigênio em solução; ao deslocamento da faixa de maior disponibilidade de nutrientes para as plantas; e à restrição física ao crescimento das raízes provocada pela compactação do solo. Todos esses fatores resultam no aparecimento de sintomas especificados pelo escurecimento das raízes, murcha da parte aérea e, posteriormente, morte das plantas.



Atenção

Perceba a importância do monitoramento de todos os fatores, não somente aqueles inerentes à planta, porque ainda que um único fator se sobressaia, este comprometerá a ordem entre os demais, desencadeando efeitos por vezes irreversíveis. Na situação-problema, o desequilíbrio do fator temperatura provocou o efeito negativo do pH, uma vez que houve o deslocamento da faixa de disponibilidade da absorção dos nutrientes.

Não tem feijão!

Descrição da situação-problema

Os solos brasileiros são naturalmente ácidos. Em uma área onde não foi realizada correção da acidez, três cultivares de feijão (A, B e C) foram plantados. A cultivar A apresentou falhas na germinação, as plantas da cultivar B germinaram, porém logo tombaram durante o crescimento inicial e a cultivar C obteve bom crescimento inicial, mas com tombamento antes de iniciar o ciclo reprodutivo. Diante do exposto, você, como engenheiro agrônomo, pergunta-se: Quais são os nutrientes que predominam em condição ácida? Estes são elementos estruturais da planta? São considerados essenciais para o crescimento inicial? Há possibilidade de ter ocorrido toxidez? Por que as três cultivares não apresentaram o mesmo comportamento?



Lembre-se

A partir desta seção, você deve ter sempre em mente os conceitos já apresentados. Para esta situação, relembre os fatores que comprometem a disponibilidade dos nutrientes no solo.

Resolução da situação-problema

Como apresentado anteriormente, a acidez do solo não foi corrigida. Em condição ácida, os micronutrientes e o Al estão em elevada disponibilidade (ver Figura 2.4), sendo prontamente absorvidos pelas plantas. Na cultivar A, a concentração tóxica dos nutrientes não permitiu a germinação, na cultivar B e C houve germinação e crescimento inicial, mas ambas morreram após tombamento, devido ao dano causado nas raízes, pois na toxidez por alumínio o órgão não se desenvolve em comprimento, aquelas ficam grossas e quebradiças, com poucas ramificações finas e são, portanto, pouco ou nada eficientes na absorção de água e de nutrientes do subsolo. A cultivar C permaneceu mais tempo em campo, o que caracteriza um maior potencial genético no processo de absorção.



Faça você mesmo

Saiba mais sobre cultivo em solos ácidos. Busque em artigos científicos ou revistas agrícolas, a fim de fixar mais rapidamente os termos técnicos, expandir seu conhecimento no tema e discuti-los em sala de aula. Sobre o tema, leia: SILVA, C. R. da; SOUZA, Z. M. de. **Eficiência do uso de nutrientes em solos**

Faça valer a pena

1. A captação de recursos nutricionais pela planta depende de vários fatores. Qual dos fatores a seguir é externo à planta e interfere na disponibilidade dos nutrientes?

- a) pH.
- b) Morfologia da folha.
- c) Presença de estômatos.
- d) Respiração.
- e) Metabolismo da planta.

2. A fertilidade natural dos solos brasileiros é baixa e a acidez contribui grandemente para essa condição. Nos solos ácidos, tem-se a diminuição da absorção de:

- a) Cátions.
- b) Ânions.
- c) Somente K^+ .
- d) Cátions e ânions.
- e) Alumínio (Al).

3. Para avaliar a eficiência da absorção radicular, considerando apenas as características morfológicas do sistema, quais aspectos a seguir devem ser analisados?

- a) Taxa de crescimento das raízes, frequência e crescimento de pelos absorventes.
- b) Comprimento da parte aérea e temperatura.
- c) Emissão de folhas, tipo de sistema radicular e pH.
- d) Teor de clorofila e tipo de solo.
- e) Morfologia das folhas e pH.

Absorção iônica foliar e fatores que afetam o processo

Diálogo aberto

Olá, aluno!

Seja bem-vindo a mais uma seção sobre o processo de absorção iônica das plantas. Você sabia que a folha, além de participar da fotossíntese, tem entre uma das suas principais e mais conhecida função a absorção de nutrientes? Nesta seção, iremos aprender mais sobre isso, vamos ver detalhadamente como funciona a absorção iônica foliar.

A nutrição adequada das plantas é um fator que impacta diretamente na produtividade das culturas e também em outros aspectos, como a capacidade defensiva das plantas contra o ataque de doenças, pois, ao manter a planta bem nutrida, ela torna-se mais "tolerante" aos efeitos danosos dos patógenos e/ou e supera estresses abióticos, como altas temperaturas e estresse hídrico. Por isso, a reposição de nutrientes é de suma importância para a manutenção dessas capacidades.

Em alguns estágios de desenvolvimento das plantas, a necessidade de certos nutrientes não é suprida pelo fornecimento dos elementos químicos pelo solo, mesmo quando aqueles existem em abundância. Isso pode acontecer, por exemplo, pela presença de limitações físicas, ocorrência de interação antagonista na absorção, forte adsorção do nutriente aos colóides do solo, entre outros fatores.

Sob essas circunstâncias, uma alternativa para suprir a demanda nutricional é aproveitar a capacidade de absorção das folhas, aplicando os nutrientes via pulverização na parte aérea das plantas. Isso contribui para corrigir as deficiências de macro e micronutrientes, fortalecendo colheitas e aumentando a velocidade e qualidade de crescimento das plantas. No entanto, a alta eficiência dessa prática depende de condições favoráveis no momento da aplicação e de características da folha. É importante enfatizar que a adubação foliar é complementar à adubação via solo, nunca o inverso.

Observe a problemática da situação-problema desta seção:

Ricardo relata em uma conversa com seus amigos, também fruticultores, que percebeu as folhas das árvores de mangostão um pouco amareladas. Os produtores o aconselharam a realizar a próxima adubação somente por via

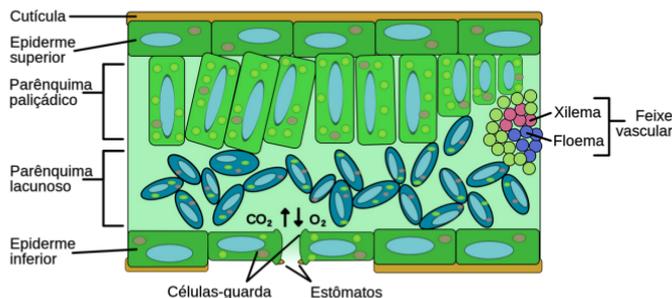
foliar. Ricardo seguiu as orientações dos amigos e efetuou a pulverização nas plantas de mangostão no período mais quente do dia. Passados dez dias, além das folhas continuarem amareladas, também apresentaram danos físicos no limbo. Como a orientação de seus amigos não resolveu seu problema, Ricardo procura você, mais uma vez, para obter assistência e faz algumas perguntas: Quais os motivos do agravamento dos sintomas? Quais fatores do clima podem interferir na absorção foliar? A maneira como recomendaram a adubação está correta? Para responder esses questionamentos, vamos aos estudos da absorção foliar.

Não pode faltar

Antes de iniciar o nosso estudo sobre a absorção iônica que ocorre nas folhas, você já pensou se ela acontece de forma similar à absorção radicular? Qual órgão é mais eficiente nesse processo? Será que a folha compartilha dos mesmos fatores que alteram a velocidade de absorção por meio da raiz?

Primeiramente, para conhecer como ocorre esse processo precisamos nos familiarizar com a anatomia das folhas. Esse órgão é composto pela epiderme, superior e inferior, ela é coberta por uma substância lipídica chamada cutícula, que tem como função reduzir a perda de água por transpiração. A epiderme contém pequenas estruturas chamadas de estômatos, responsáveis pelas trocas gasosas entre a folha e o meio ambiente. Os estômatos são geralmente mais numerosos na parte inferior da folha. O mesofilo é um tecido da folha responsável pelo processo de fotossíntese, ele é formado, principalmente, por dois tipos de parênquima clorofiliano: o paliçádico e o lacunoso. O parênquima paliçádico pode se localizar abaixo da epiderme da face adaxial ou nas duas faces, apresenta células alongadas, dispostas lado a lado e separadas por pequenos espaços intercelulares. Já o parênquima lacunoso possui grande quantidade de espaço entre as células que, por sua vez, possuem formatos variados e localiza-se logo acima da epiderme da face abaxial ou entre as camadas de parênquima paliçádico (Figura 2.7).

Figura 2.7 | Diagrama de uma anatomia interna da folha



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Folha#/media/File:Anatomia_da_folha.svg>. Acesso em: 10 jun. 2016.

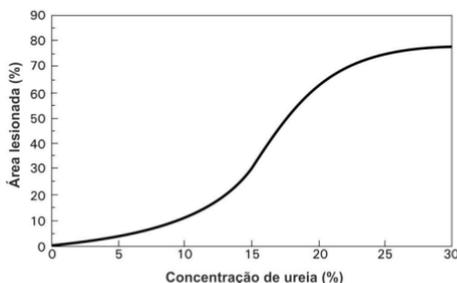
Você se recorda das fases passiva e ativa estudadas na seção sobre absorção iônica radicular? A absorção foliar também se divide nessas duas fases, inicia-se com a fase passiva, que consiste na penetração cuticular. É um processo sem gasto de energia, em que o nutriente aplicado à superfície foliar atravessa a cutícula superior ou inferior ocupando o ELA (Espaço Livre Aparente) (Figura 2.7). Certas substâncias são capazes de desfazer algumas ligações químicas existentes entre as unidades da estrutura cerosa da cutícula, resultando em algumas aberturas na cutícula que, por sua vez, facilitam a penetração de soluções. Esse fenômeno é conhecido como difusão facilitada. Concluída a fase passiva, inicia-se a fase ativa, na qual o nutriente é efetivamente absorvido pelas membranas (plasmalema e/ou tonoplasto) das células do mesófilo. Assim, atinge o simplasto, no qual pode ser metabolizado ou transportado entre as células por meio de projeções citoplasmáticas (plasmodesmos), chegando ao floema. Desse modo, tem-se o transporte à longa distância.



Exemplificando

Uma substância capaz de promover a difusão facilitada é a ureia, por esse motivo, é frequentemente empregada em pulverização foliar e tem se destacado como aditivo na adubação foliar, pois aumenta a velocidade de absorção de cátions e ânions.

Figura 2.8 | Área lesionada de folhas de feijoeiro que receberam soluções de ureia em diversas concentrações



Fonte: Oliveira, Rosolem e Trigueiro (2004, [s.p.]).



Vocabulário

Adaxial: face superior da folha.

Abaxial: face inferior da folha.

Hidrofilia: refere-se a uma propriedade física, em que uma molécula é atraída por água, podendo aglutinar-se a ela.

Plasmodesmos: são um tipo de interligação entre membranas de células

vizinhas que criam pontes citoplasmáticas. Ocorrem somente em células vegetais.

Apoplasto: é o nome dado ao conjunto dos compartimentos existentes exteriormente à membrana plasmática.

As folhas, assim como as raízes, também estão suscetíveis à ação de fatores externos e internos. Começaremos a estudar os fatores externos àqueles inerentes aos nutrientes, às soluções pulverizantes e ao clima. A molhabilidade da superfície foliar é o primeiro fator externo que estudaremos, ele é determinado pelo ângulo de contato entre a solução e a superfície foliar, quanto maior o molhamento da folha, maior será a possibilidade de absorção dos nutrientes.

A temperatura e umidade do ambiente determinam a duração da solução sobre a folha e, por conseguinte, a velocidade de absorção, pois em altas temperaturas ou baixa umidade relativa do ar, a evaporação da solução é facilitada, o que contribui para sua menor permanência na superfície foliar e, conseqüentemente, diminui a possibilidade de absorção. Por esse motivo, recomenda-se que a adubação foliar seja realizada pulverizando as plantas no início da manhã e final da tarde, períodos de temperatura mais amena. As altas temperaturas também podem acarretar dano físico ao limbo, pois sob esta condição a evaporação é intensa, o que reduz o tempo de contato da solução com a superfície foliar e, depois, as taxas de absorção, ocasionando uma alta concentração da solução residual na superfície da folha.

A luz tem um papel essencial no processo fotossintético e a produção de energia é indispensável para a fase ativa da absorção. Portanto, no escuro, inexistente essa fonte de energia, o que reduz a absorção.

A concentração da solução a ser aplicada pode ser modificada sob altas taxas de evaporação, o que a torna muito concentrada a ponto de causar danos à folha. Dessa forma, a composição da solução deve ser considerada, pois há diferenças na absorção foliar em função da natureza química do íon (cátions ou ânions) e também pelo íon acompanhante. Em relação à natureza química do íon, observa-se que os poros da cutícula contêm cargas negativas (ácidos poligalacturônicos), isto implica em maior absorção de cátions em relação aos ânions que sofrem repulsão. Por exemplo, a taxa de absorção de NH_4^+ será maior do que a de NO_3^- . Em relação ao íon acompanhante, a diferença se dá pela variação de solubilidade e higroscopicidade dos sais.

Tabela 2.3 | Velocidade de absorção dos nutrientes aplicados às folhas

Nutriente	Tempo para 50% da absorção total
N - Uréia (CO-NH_2) ₂	0,5 a 36 h.
P - H_2PO_4^-	1 a 15 dias
K - K^+	1 a 4 dias
Ca - Ca^{2+}	10 a 96 h.
Mg - Mg^{2+}	10 a 24 h.
S - SO_4^{2-}	5 a 10 dias
Cl - Cl	1 a 4 dias
Fe - Fe-EDTA	10 a 20 dias
Mn - Mn^{2+}	1 a 2 dias
Mo - MoO_4^{2-}	10 a 20 dias
Zn - Zn^{2+}	1 a 2 dias

Fonte: Malavolta (1980, [s.p.]).

Quanto aos fatores internos, a umidade da cutícula é um importante fator, pois sua ação interfere diretamente no caminho do elemento, principalmente na fase passiva da absorção. Uma vez que o processo de difusão dos elementos faz parte dessa dinâmica, um nível mínimo de umidade é indispensável para a ocorrência daquele. A superfície da folha também deve ser considerada, pois sua face superior e inferior apresenta-se com alguns aspectos anatômicos distintos. A absorção foliar de nutrientes ocorre preferencialmente na face abaxial da folha, na qual a cutícula é mais fina e tem alta quantidade de poros, dado o maior número de estômatos. A idade da folha também interfere na absorção dos nutrientes, pois quando ocorre o envelhecimento desta, há um maior desenvolvimento da cutícula, o que aumenta a resistência da solução à penetração, tornando o processo de absorção mais difícil. O estado iônico interno influencia na quantidade de elementos a serem absorvidos. Nesse sentido, quanto maior a concentração de elementos químicos nas células da folha, maior será a dificuldade na absorção de novos elementos.



Assimile

Note que os aspectos inerentes às folhas influenciam de forma relevante a absorção dos nutrientes, por isso, é importante que estes sejam considerados quando a adubação foliar for realizada.

Após compreender os fatores que influenciam a absorção foliar, observaremos algumas informações relevantes para a aplicação dos nutrientes via foliar. Os macros e micronutrientes são elementos químicos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, essas denominações (macro e micro) não se referem à importância do nutriente para a planta, mas sim à quantidade necessária. Para a suplementação desses elementos nas lavouras, é fundamental a análise de diversos aspectos da adubação foliar, como:

- A adubação foliar deve utilizada como complemento da adubação

via solo.

- Assim como na adubação via solo, é imperativo que a recomendação de adubação seja baseada nos resultados da análise foliar, juntamente com as de solo, mesmo que o fornecimento de nutrientes seja somente por via foliar.
- A presença de impurezas na água pode causar reações quando em contato com os nutrientes, reduzindo sua ação, por isso, a água deve ser limpa.
- Já sabemos a faixa ideal de pH para a disponibilidade de nutrientes. Então, na solução, ela deve ser controlada.
- O uso da tecnologia de aplicação do pulverizador deve ser apropriado, com equipamentos bem regulados, pois eles garantem a maior homogeneidade de aplicação do produto.



Refleta

Por que os fertilizantes foliares são mais efetivos para aplicação de micronutrientes? Lembre-se que eles são mais efetivos por eles serem exigidos em pequena quantidade, sua aplicação direta sobre as folhas tendem a ser mais eficientes via foliar do que via solo, no qual sua disponibilidade depende principalmente do pH e das interações iônicas.

Nesta seção, apresentamos o processo de absorção iônica foliar e os muitos fatores que a influenciam, e como você pode perceber esta variedade de fatores demonstra a complexidade de variáveis que precisam ser consideradas no estudo da nutrição de plantas, principalmente ao que refere-se à absorção dos nutrientes. Por esse motivo, esse assunto é bastante pesquisado e constantemente atualizado. Dessa forma, você como profissional da área deve ler frequentemente sobre o tema, a fim de elucidar questões do seu cotidiano profissional e proporcionar ao produto a correta indicação do manejo da espécie cultivada.

Sem medo de errar

Ricardo seguiu as orientações dos amigos e efetuou a pulverização nas plantas de mangostão no período mais quente do dia. Passados dez dias, além das folhas continuarem amareladas, também apresentaram danos físicos no limbo.

Como a orientação de seus amigos não resolveu seu problema, Ricardo procura você, mais uma vez, para obter assistência e faz algumas perguntas:

Quais os motivos do agravamento dos sintomas? Quais fatores do clima podem interferir na absorção foliar? A maneira como recomendaram a adubação está correta? Para responder esses questionamentos, vamos aos estudos da absorção foliar.

O primeiro erro nessa situação consiste na adubação sem análise prévia do solo ou tecido foliar, o que pode ter piorado ainda mais os sintomas das folhas. Somente depois de realizar um estudo é possível saber quais nutrientes estão escassos no solo e/ou deficiente para a planta, o que evita a toxidez ou o agravamento de uma deficiência nutricional. Logo, a adição de um nutriente à plantação, sem a certeza de que os sintomas estavam relacionados à nutrição mineral, e não a uma doença, por exemplo, é um risco de perda econômica e prejuízo ambiental. Além disso, ainda que o produtor tivesse a certeza de que o sintoma se referia à nutrição da planta, a análise do solo é uma ferramenta indispensável, mesmo quando o fornecimento de nutrientes é por via foliar.

O segundo erro consiste no horário em que a pulverização foi feita. Recomenda-se que esta seja realizada nos períodos de temperatura mais amena, ou seja, início da manhã e final da tarde, pois a umidade relativa do ar é alta. Esses fatores climáticos interferem na abertura dos estômatos e umidade da cutícula, que se apresentam, respectivamente, com abertura e teor de água suficientes para facilitação da absorção do soluto.

O surgimento de dano físico no limbo pode ser atribuído também à alta temperatura, pois sob esta condição a evaporação é intensa, o que reduz o tempo de contato da solução com a superfície foliar e, conseqüentemente, as taxas de absorção, resultando em alta concentração da solução residual na superfície da folha.

A recomendação dos amigos de Ricardo agravou os danos nas plantas, por isso, é sempre necessário que um profissional, que no caso da situação-problema é você, engenheiro agrônomo, analise todas as variáveis presentes na área de produção, a fim de recomendar o melhor tipo de adubação para alcançar uma absorção de nutrientes adequada.



Atenção

Nesta situação-problema você deve estar atento ao cumprimento dos pré-requisitos para recomendar uma adubação e atender as técnicas relacionadas à prática, como o horário de pulverização.

Nutrir o café

Descrição da situação-problema

Você é o engenheiro agrônomo de uma fazenda produtora de café e verificou que as plantas estão com um desenvolvimento lento, logo, esclareceu ao produtor que a lavoura deve receber um complemento nutricional. O produtor comenta com você sobre a possibilidade de realizar a adubação foliar, porém ele desconhece essa técnica. Quais procedimentos necessários para realizar a adubação foliar? Há vantagens econômicas? Quais são os aspectos técnicos dessa adubação?



Lembre-se

Antes de recomendar uma adubação foliar, é necessário considerar as características da planta, como estrutura foliar, estado nutricional, disposição das folhas nos ramos e os fatores externos a ela, como as condições climáticas, a temperatura, umidade relativa do ar e precipitação.

Resolução da situação-problema

Para responder às interrogações, é preciso saber qual nutriente está em falta ou excesso na planta e as condições da reserva de nutrientes no solo, ou seja, é necessário realizar a análise do solo e tecido foliar, pois qualquer tipo de adubação, quando realizada de forma indiscriminada, pode causar prejuízos, tanto por gastos desnecessários, como por desequilíbrios e carências. Somente a partir das análises, é possível recomendar a adubação de determinado nutriente, considerando a necessidade da cultura.

Na prática, a eficiência da adubação foliar está relacionada a alguns fatores, como a diferença na penetração de cátions e ânions nas folhas, concentração dos fertilizantes e umidade relativa do ar, pois a taxa de absorção de solutos é mais efetiva em alta umidade, razão pela qual se indica a realização da adubação foliar em horários com temperaturas mais amenas, como durante a noite, no caso da cafeicultura. A absorção foliar de nutrientes é maior quando a solução nutritiva permanece mais tempo na superfície da folha, formando uma película fina.

A correção de algumas deficiências em curto prazo de tempo e a possibilidade da aplicação de micronutrientes, juntamente com defensivos agrícolas, são exemplos de vantagens econômicas em relação à adubação via solo.



Faça você mesmo

Pesquise sobre a prática de aplicação de fertilizantes via foliar, juntamente com a aplicação de defensivos agrícolas, como fungicidas e inseticidas. Veja quais características de ambos os produtos devem ser analisadas antes de utilizá-los conjuntamente.

Faça valer a pena

1. A prática da adubação foliar vem se desenvolvendo intensamente nos últimos anos em várias culturas de interesse econômico, baseada na capacidade da parte aérea das plantas de absorver água e nutrientes.

Sobre essa prática, é correto afirmar:

- a) É mais eficiente para macronutrientes.
- b) É utilizada para substituir a adubação no solo.
- c) Recomenda-se para qualquer idade da planta.
- d) Quando realizada nas horas mais quentes do dia garante maior eficiência.
- e) É mais utilizada para a aplicação de micronutrientes.

2. Por qual motivo, no momento da pulverização foliar, recomenda-se centralizar a aplicação da solução nas folhas mais novas e não nas mais velhas?

- a) Porque as folhas mais novas têm cutícula menos espessa.
- b) Porque as folhas mais novas ainda não desenvolveram mesófilo.
- c) Porque as folhas mais novas absorvem a mesma quantidade de nutrientes que as folhas mais velhas.
- d) Porque as folhas mais novas absorvem menos solução, resultando em maior economia nas pulverizações.
- e) Porque são menos eficientes na absorção de nutrientes.

3. A umidade é um fator externo que afeta tanto a absorção radicular quanto a foliar. Dessa forma, qual a influência nas folhas da umidade do ar juntamente com a temperatura?

- a) Alteram a velocidade de absorção.
- b) Selecionam qual nutriente é absorvido.
- c) Não interferem no processo de absorção.
- d) Quando baixas, aumentam o tempo de permanência da solução nas folhas.
- e) Quando altas, reduzem o tempo de permanência da solução nas folhas.

Dinâmica dos macros e micronutrientes no solo

Diálogo aberto

Olá, aluno!

Chegamos à última seção desta unidade e agora estudaremos o comportamento dos nutrientes no solo. Será que a forma química do íon permanece inalterada no solo ao longo do tempo? Quais os fatores envolvidos que podem afetar a dinâmica dos nutrientes no solo? Há consequências na fertilidade do solo influenciada pela forma que os nutrientes se dinamizam no solo? A propósito, o que é a fertilidade do solo? Esses são alguns dos questionamentos propulsores do nosso estudo.

Inicialmente, precisamos compreender que a fertilidade de um solo consiste na sua capacidade de ceder nutrientes às plantas em quantidades adequadas durante o desenvolvimento desta. Isso nos leva a concluir que todo solo fértil é produtivo, certo? Errado, pois a disponibilidade de nutrientes e o equilíbrio entre eles é apenas um dos vários fatores que contribuem para a elevação da produtividade. Estudamos que os nutrientes disponíveis para as plantas estão nas formas solúveis, grande parte deles estão adsorvidos aos coloides (fase mineral ou orgânica), que atraem os íons para suas superfícies, “protegendo-os” da lixiviação e liberando-os para a solução do solo, à medida que a concentração do íon nela é reduzida.

Como já estudamos, o nitrogênio é um macronutriente essencial e um dos mais exigidos pelas plantas. Dessa forma, a situação-problema desta seção expõe a realização da adubação nitrogenada na plantação de coqueiro e mangostão de Ricardo. A forma química do nutriente disponibilizada pelo fertilizante é a nítrica (NO_3^-) e, como exposto no início da unidade, Ricardo realizou, por conta própria, a limpeza da área de plantio, aquisição de insumos (sementes e fertilizantes) e o preparo das mudas. Observamos, assim, que não há referências sobre o tratamento para controle da acidez. Consideraremos, então, que a condição química da área é ácida. Ricardo conversou com você, engenheiro agrônomo que está acompanhando os plantios na propriedade dele, e expôs algumas dúvidas sobre a adubação nitrogenada, como: o fertilizante pode alterar a condição do meio? Pode haver influências no crescimento e desenvolvimento das culturas? Há critérios para a escolha de um fertilizante?

Cada espécie do pomar de Ricardo possui um ciclo produtivo e exigências nutricionais distintas, sendo necessária a diferenciação no manejo nutricional

realizado para sua produção. Faça um levantamento sobre os fatores abióticos que influenciam a disponibilidade do nutriente para ambas as culturas e elabore um relatório técnico sobre esse levantamento para a cultura do mangostão e do coqueiro. Esse trabalho deverá ser entregue no encerramento desta unidade.

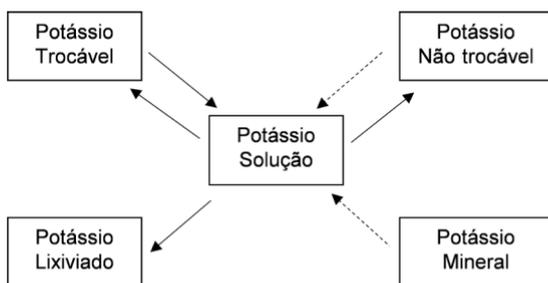
Na presente seção, você entenderá por que para a correta diagnose da fertilidade de um solo é necessário conhecer: a disponibilidade de macro e micronutrientes, saber quem são os cátions e os ânions, a relação entre os nutrientes e as condições de acidez do meio. Nesta seção abordaremos a forma e dinâmica dos nutrientes e os princípios para avaliar sua disponibilidade.

Não pode faltar

Para um melhor entendimento da dinâmica dos elementos químicos no solo, convém saber que eles não são absorvidos na sua forma orgânica, e sim iônica, possuindo cargas positivas ou negativas. Os nutrientes contidos na matéria orgânica passam pelo processo de mineralização, realizado por microrganismos do solo para a obtenção de cargas e, assim, tornam-se disponíveis às plantas. Nos fertilizantes minerais, as cargas originam-se quando são adicionadas ao solo e solubilizadas na fase líquida deste, liberando os nutrientes na forma de íons para a absorção.

Estudaremos inicialmente os macronutrientes cátions, como o potássio. Ele comporta-se no solo como íon cátion monovalente (K^+), é absorvido pelas plantas nessa forma e nela poderá ser facilmente lixiviado, absorvido, fixado, adsorvido às argilas ou permanecer na solução do solo. Em solos arenosos, por exemplo, é facilmente lixiviado dada a baixa CTC (Capacidade de Troca Catiônica). Do potássio prontamente disponível (1- 2% do total), cerca de 10% está na solução do solo e o restante na forma fixada em minerais, isto é, não disponível às plantas.

Figura 2.9 | Representação simplificada das formas de potássio no solo e sua dinâmica. O tracejado representa a liberação lenta do potássio

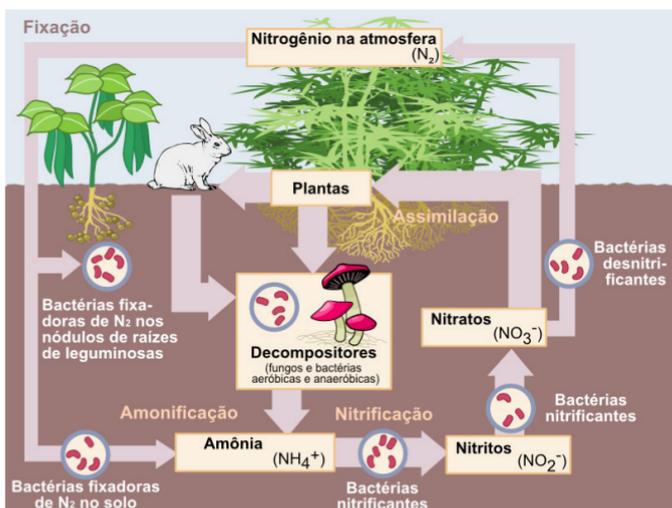


Fonte: adaptada de Furtini Neto et al. (2001, [s.p.]).

O cálcio, por sua vez, comporta-se como íon divalente positivo (Ca^{++}) no solo, assim, pode ser mais fortemente adsorvido aos coloides do que o potássio, é nesta forma química que é absorvido pelas plantas. O conteúdo de cálcio no solo é função do seu material de origem (rocha), sendo influenciado pela sua textura, pelo teor de matéria orgânica e pela remoção das culturas. Sua disponibilidade às plantas, assim como o potássio e magnésio, é afetada pela quantidade de nutriente disponível no solo, pelo grau de saturação no complexo de troca e pela relação com os outros cátions do complexo coloidal. O magnésio, como íon bivalente positivo (Mg^{++}), tem comportamento muito similar ao cálcio.

Agora, vamos aos nutrientes com cargas negativas, os macronutrientes aniônicos, como nitrogênio (NO_3^-), fósforo (PO_4^{---}) e enxofre (SO_4^{--}) são muito ligados à matéria orgânica e adsorvidos nas poucas cargas positivas do solo. Como o saldo líquido de cargas do solo, em geral, é negativo, os ânions, como NO_3^- , tendem a ser facilmente lixiviados. O nitrogênio tem forma catiônica (NH_4^+) e aniônica (NO_3^-), sendo que sua maioria, mais de 95%, está na forma de NO_3^- , a qual é bastante lixiviada para fora da zona de absorção das raízes. Há uma relação íntima entre a matéria orgânica do solo e o nitrogênio disponível para as plantas, pois mais de 90% deste está em forma orgânica no solo. As transformações das formas de NH_4^+ para NO_3^- são feitas por bactérias dos gêneros nitrobacter e nitrosomonas, que pela associação com as raízes das plantas, principalmente da família Leguminosae, disponibilizam esse elemento diretamente a elas e indiretamente aos animais, por meio das relações tróficas: produtor e consumidor (Figura 2.10).

Figura 2.10 | Ciclo do nitrogênio



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Nitrogen_Cycle_pt.png>. Acesso em: 4 jul. 2016.

As bactérias, ao fixarem o N_2 , liberam amônia (NH_3). A amônia, quando em contato com as moléculas de água do solo, forma o hidróxido de amônio que, ao ionizar-se, produz o amônio (NH_4^+), em um processo caracterizado como amonificação. Existe um equilíbrio devido ao pH entre amônia e amônio, sendo que em ambientes em que o pH encontra-se mais ácido, prevalece a formação de NH_4^+ e, contrariamente, em ambientes mais básicos, formação de NH_3 é mais usual. Esse amônio tende a ser absorvido e utilizado principalmente pelas plantas que possuem bactérias associadas às suas raízes (bacteriorrizas). Quando produzido por bactérias de vida livre, o amônio tende a ficar disponível no solo para ser utilizado por outras bactérias (as nitrobactérias).

A nitrificação é definida como a formação biológica de nitrato ou nitrito a partir de compostos que contenham nitrogênio na forma amoniacal (NH_4^+). A importância dos nitrificantes está no fato de que a produção de nitrato é a principal fonte de nitrogênio assimilado pelas plantas.

Para fechar o ciclo, a desnitrificação é realizada por bactérias desnitrificantes (*Pseudomonas denitrificans*), elas utilizam o nitrato para oxidar compostos orgânicos e produzir energia, sendo transformadas em gás, reiniciando o ciclo. A volatilização de NH_3 livre pode ser apreciável em certas condições, na maioria dos solos essa perda e a magnitude dela varia diretamente com o aumento da alcalinidade. Temperaturas altas favorecem o processo, mas as perdas são menores em solos com alta CTC.



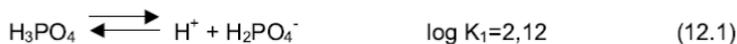
Pesquise mais

Visite a página da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e conheça mais sobre a Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN) e sua utilização nas principais culturas agrícolas.

A forma química do fósforo varia em função do pH, sendo preferencialmente absorvido como íon ortofosfato ($H_2PO_4^-$). Em elevada condição ácida tende a predominar a forma de ortofosfato primário ($H_2PO_4^-$) e em solos alcalinos predomina o íon ortofosfato secundário (HPO_4^{2-}) (Figura 2.11). Em geral, o pH que proporciona maior disponibilidade de fósforo está entre 6,0 e 6,5, nessa faixa de pH é mínima a reação ou fixação do fósforo. Ele ocorre na forma orgânica e em centenas de formas inorgânicas no solo. A maior parte de fósforo inorgânico está na fração argila do solo, ligado ao cálcio, ferro, alumínio e quase não está disponível às plantas. Quando disponível a elas, tende a ser facilmente fixado por argilas do solo. Quanto ao fósforo do solo, sua maioria constitui os compostos orgânicos dele, que reduzem sua fixação

com ferro e alumínio por formar complexos com eles. Por fim, o enxofre encontra-se, em sua maior parte, imobilizado na matéria orgânica, podendo ser absorvido após a sua mineralização a sulfato (SO_4^{2-}) pelas bactérias do solo. O sulfato, por ser muito móvel no solo, é facilmente lixiviado.

Figura 2.11 | Formas do fosfato no solo, de acordo com a acidez



Fonte: Furtini Neto et al. (2001, [s.p.]).



Refleta

Observe que a quantidade e disponibilidade dos micronutrientes para as plantas depende muito da mineralogia das rochas que dão origem aos solos, havendo íntima correlação entre o teor de argila e o conteúdo de micronutrientes. O agrupamento destes em cátions (Fe^{++} , Mn^{++} , Zn^{++} e Cu^{++}) e ânions (BO_3^- , Cl^- e Mo_4^{--}) facilita o entendimento do seu comportamento em relação aos colóides do solo, bem como da sua disponibilidade.

O ferro no solo é adsorvido pelas plantas aos colóides como cátion trivalente (Fe^{+++}). O cobre, zinco e manganês como cátion bivalente (Cu^{++}), (Zn^{++}) e (Mn^{++}), respectivamente. Grandes quantidades de manganês, cerca de 10%, podem ocorrer nos solos na forma de óxidos e hidróxidos de solubilidade variável, mas uma pequena porção está disponível às plantas. O Boro (BO_4^-), o Cloro (Cl^-) e o Molibdênio (MoO_4^{--}) são aniônicos e, como todo ânion, sofrem os efeitos de uma maior lixiviação, uma vez que não são facilmente adsorvidos aos colóides do solo.

Apesar de saber como os nutrientes se comportam no solo, ora na fase líquida, ora na fase sólida, disponíveis ou não à planta, você deve estar se perguntando em que deve basear-se para avaliar a disponibilidade deles. Para isso, estudaremos de forma simplificada os princípios da disponibilidade dos nutrientes, que se sustentam em quatro fatores: fator capacidade ou poder tampão do nutriente, transporte, interação iônica e a própria planta (Figura 2.12). O primeiro fator, representado na Figura 2.12 pelo número 1, consiste na capacidade da fase sólida em suprir a solução do solo com mais nutrientes. O transporte também é considerado um fator, pois já sabemos que, para o nutriente ser absorvido pela raiz, ele precisa ser transportado até a superfície

radicular. Assim, o teor disponível de um dado nutriente, em função do fator transporte, depende de aspectos físicos do solo, como textura, compactação e teor de água - a umidade do solo é de extrema importância para a disponibilidade dos nutrientes. Outro fator é a interação iônica, também já vista nas seções anteriores, em que a presença de outro nutriente ou de certos elementos químicos (representados por Y na figura) pode afetar seriamente a disponibilidade do nutriente. Ela pode ser reduzida, em primeiro lugar, por meio da interação ao nível de solução de solo. Nesse caso, reações de precipitação (alumínio com fósforo, por exemplo) reduzem a concentração do nutriente na solução e, conseqüentemente, sua disponibilidade. Em segundo lugar, a interação pode ocorrer na superfície radicular, como exemplo temos o amônio, um potente inibidor da absorção de potássio (VALE; VOLK; JACKSON, 1988).

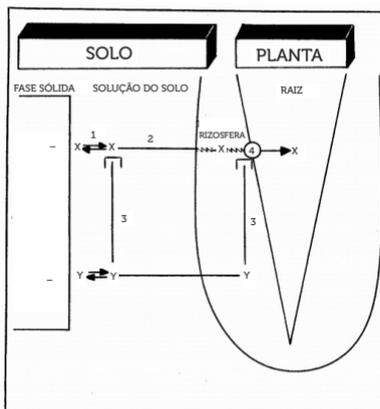
O papel das plantas na aquisição dos nutrientes do solo é, cada vez mais, reconhecido, principalmente para os nutrientes de baixa mobilidade, por exemplo, para o fósforo, a morfologia e o crescimento radicular exercem papel fundamental em alterar a disponibilidade deste nutriente.



Exemplificando

Um exemplo da importância do fator planta na disponibilidade dos nutrientes consiste na associação das raízes com micorrizas. As hifas dos fungos micorrízicos aumentam a área de absorção, promovendo maior aquisição de nutrientes, notadamente de fósforo (SIQUEIRA; PAULA, 1986). Logo, as hifas minimizam o efeito do fator transporte na disponibilidade do fósforo.

Figura 2.12 | Representação esquemática dos vários fatores que afetam a disponibilidade de nutrientes



Fonte: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA4NYAB/fertilidade-solo>>. Acesso em: 13 jun. 2016.



Assimile

O transporte é um dos fatores que compõe os princípios para avaliação da disponibilidade. Relacione-o com as três formas de absorção: difusão, fluxo de massa e interceptação radicular, considerando que as duas primeiras são totalmente dependentes da presença de água. Logo, em condição de estresse hídrico, sabe-se que um dos princípios não será atendido.

Caro aluno, nesta seção finalizamos a Unidade 2, na qual abordamos o fenômeno da absorção iônica radicular e foliar. O conhecimento sobre esse tema fundamenta a nutrição mineral das plantas, visto que é por esse processo que as plantas “se alimentam”. Porém, para que isso ocorresse, fez-se necessário estudarmos também as formas e dinâmicas dos nutrientes no solo, pois as plantas têm preferências por determinadas formas químicas do nutriente, que nem sempre estão disponíveis, devido à ação de fatores intrínsecos e extrínsecos à planta. Lembre-se de que a disponibilidade pode ser avaliada por quatro princípios, apresentados anteriormente.

Esperamos que você tenha tido um bom aproveitamento de todas as aulas. Entretanto, não se dê por satisfeito, pesquise mais sobre os assuntos discutidos e lembre-se de que seu conhecimento é sua ferramenta de trabalho!

Sem medo de errar

Agora que você já conheceu melhor alguns tópicos importantes abordados nesta seção, vamos à resolução da situação-problema proposta. Os seguintes questionamentos foram levantados: o fertilizante pode alterar a condição do meio? Ele pode influenciar no crescimento e desenvolvimento das culturas? Há critérios para a escolha de um fertilizante?

A situação-problema consiste na adubação nitrogenada realizada na propriedade do senhor Ricardo. O nitrogênio foi fornecido na forma nítrica (NO_3^-) e na área não se efetuou a calagem, ou seja, o solo permaneceu ácido. Após a aplicação de adubo, o meio tende a tornar-se mais ácido, uma vez que o nitrato (NO_3^-), ao reagir, libera H^+ para a solução do solo, intensificando assim a acidez, ou seja, a fertilização altera a condição do meio.

Essa elevação da acidez do solo influenciará na aquisição de nutrientes pela planta, pois, em meio ácido, apenas os micronutrientes e alumínio (Al) estão disponíveis. Nem mesmo o nitrogênio aplicado estará disponível, pois, como nos solos brasileiros predominam as cargas negativas e o nutriente é ânion (NO_3^-), logo ocorrerá a perda por lixiviação, o que resultará em uma provável diminuição nutricional das plantas.

O uso de adubação nitrogenada química e/ou orgânica deve ser criterioso, para evitar problemas ambientais de contaminação da água com nitratos. Na escolha da fonte de nitrogênio deve-se levar em conta uma série de fatores, como as condições climáticas, tipo de solo, prática de irrigação e outros. Aluno, o produto do seu trabalho será um relatório técnico (no máximo duas laudas, nas normas da ABNT) que aborde a importância da temática de forma sucinta, apresentando os fatores abióticos de forma generalizada e aqueles que mais influenciam a cultura do mangostão e coqueiro. Nas considerações finais, faça recomendações de controle desses fatores para o senhor Ricardo.



Atenção

Como você pode observar na resolução, devemos ser criteriosos na escolha dos fertilizantes. É comum que na aquisição deles, o produtor priorize o fator econômico, em detrimento dos demais fatores. Muitas vezes, também, o produtor quer suprir a planta de um determinado nutriente sem saber se o fertilizante escolhido, ao reagir com o solo, será absorvido pela planta. Cabe a você, como engenheiro agrônomo, alertá-lo e preveni-lo dessas perdas econômicas e prejuízos ambientais.

Essa situação mostra que não basta adicionar nitrogênio (N) ao solo sem ter conhecimento das transformações químicas sofridas por ele. Algumas destas podem acabar por retirar o nitrogênio do solo, como a volatilização e lixiviação. Assim, o nitrogênio disponível no solo depende de um manejo correto e conhecimento das transformações dele para os ambientes agrícolas.

Avançando na prática

Cátions ou ânions?

Descrição da situação-problema

Uma fazenda produtora de milho montou um experimento para avaliar a resposta da cultura à adubação nitrogenada. Em um lote utilizou-se adubos nitrogenados amoniacais e em outro, os nítricos. Ambos os lotes encontram-se sobre idênticas condições edafoclimáticas: elevada temperatura, solos arenosos e pH em 7,6.

O produtor de milho, com várias dúvidas sobre os resultados da adubação realizada, procurou você, engenheiro agrônomo, para esclarecer alguns questionamentos, como: por tratar-se do mesmo nutriente, as reações químicas no solo serão as mesmas? Quais mudanças poderão advir dos

diferentes fertilizantes? Quais as implicações para a planta? Qual fertilizante é mais recomendado para essa condição?



Lembre-se

O nitrogênio é um nutriente que tem grande mobilidade e pode ser encontrado em várias formas químicas no solo. Algumas transformações podem ser decorrentes de reações mediadas por microrganismos, como a nitrificação e a amonificação, e ainda reguladas por fatores edafoclimáticos, que estão relacionados ao meio externo em que a planta está inserida.

Resolução da situação-problema

As formas preferenciais de absorção de nitrogênio (N) pelas plantas são a amônia (NH_4^+) e o nitrato (NO_3^-) e são essas duas formas que os fertilizantes disponibilizarão às plantas quando reagirem com o solo. Porém, o nitrogênio amoniacal em solos com pH maior que 7, sofre volatilização, ou seja, em solos alcalinos o amônio (NH_4^+) transforma-se em amônia (NH_3), perdendo nutrientes para a atmosfera. Uma elevada temperatura também contribui para a volatilização, facilitando a expansão do gás NH_3 . O nitrato é a forma de nitrogênio mais abundante no solo, apesar de ser fracamente ligado à matéria orgânica e aos argilominerais, possui uma solubilidade elevada, sendo facilmente arrastado pelas águas das chuvas no fenômeno de lixiviação. Ele é o mais recomendado para o contexto da situação-problema, pois os fertilizantes nítricos apresentam um caráter acidificante do solo. Assim, o pH do solo será reduzido, favorecendo a maior disponibilidade dos demais nutrientes para a planta. Portanto, as plantas do lote adubado com nitrogênio nítrico apresentará maior crescimento quando comparada ao outro lote que permanece em condição ácida.

Como as condições edafoclimáticas são idênticas, entende-se que a diferença obtida entre as culturas é devida exclusivamente ao adubo utilizado, sendo recomendado o uso do adubo nítrico.

Faça valer a pena

1. A nitrificação é definida como a formação biológica de nitrato ou nitrito a partir de compostos que contenham nitrogênio na forma amoniacal (NH_4^+).

Qual a importância dos nitrificantes?

- Produção de nitrato.
- Diminuição da acidez do solo.
- Aumento da quantidade de água disponível para as plantas.

- d) Menor compactação do solo por facilitar a infiltração da água.
- e) Maior compactação do solo.

2. “O potássio comporta-se no solo como _____. É nessa forma que é absorvido pelas plantas e também poderá ser facilmente lixiviado, absorvido, fixado, adsorvido às argilas ou permanecer na solução do solo”.

Qual a forma de potássio, absorvido pelas plantas, que preenche corretamente a lacuna da afirmação acima?

- a) K.
- b) K⁺.
- c) K⁺⁺.
- d) K⁻.
- e) K.

3. Em solos arenosos, o comportamento do nutriente potássio (K) é:

- a) Imóvel.
- b) Altamente adsorvido.
- c) Indisponível.
- d) Facilmente lixiviado.
- e) Perdido por volatilização.

- BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability**: a mechanistic approach. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1966. 389p.
- BOARETTO, A. E.; CASARIN, V. Adubação foliar corrige deficiências das lavouras. **Visão Agrícola**. São Paulo, n. 9, p. 51-52, jul./dez. 2009. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Fertilidade06.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2016.
- CÉSAR, M. A. A.; DELGADO, A. A.; CAMARGO, A. P. de; BISSOLI, B. M. A.; SILVA, F. C. da. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. **Revista Sociedade dos técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, v. 6, p. 32-38, 1987.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Projeto “Racionalização do uso de insumos”**. Subprojeto “Pesquisa em racionalização de fertilizantes e corretivos na agricultura”. Brasília, DF, 1980. 78 p.
- _____. **A Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN), e sua utilização nas principais culturas agrícolas**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio/nota-tecnica>>. Acesso em: 13 jul. 2016.
- _____. **Portal FBN**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio/nota-tecnica>>. Acesso em: 22 maio 2016.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. 2005. 183p. (Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” à distância: Solos e Meio Ambiente). Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. Disponível em: <http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/Prof_Faquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2016.
- FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. 2001. 252p. (Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” à distância: Fertilidade do solo e nutrição de plantas no agronegócio). Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. Disponível em: <[http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/Pof%20Furtini/Fertilidade%20do%20Solo%20\(Livro\).pdf](http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/Pof%20Furtini/Fertilidade%20do%20Solo%20(Livro).pdf)>. Acesso em: 14 jul. 2016.
- GOTINJO Neto, G. F. O manejo da lavoura com ênfase no sistema radicular. **Reagro**. Jales, SP, 2013. Disponível em: <<http://reagro.com.br/plus/modulos/noticias/imprimir.php?cdnoticia=2596>>. Acesso em: 9 jun. 2016.
- HUMBRET, R. P. **The growing of sugar cane**. New York: Elsevier, 1968. 779 p.
- MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 4 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 255 p.
- _____. **ABC da adubação**. 5. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 292 p.
- _____. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.
- MIKKELSEN, R. Os solos e as raízes das plantas. **Jornal Informações Agronômicas**. Brasil, p. 15-17, n. 150, jun. 2015. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/B5EF7FE7B980C2B783257E7F004DE884/\\$FILE/Page15-17-150.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/B5EF7FE7B980C2B783257E7F004DE884/$FILE/Page15-17-150.pdf)>. Acesso em: 4 jul. 2016.
- MORALES, R. G. F. et al. Influência da nutrição mineral foliar sobre doenças da parte aérea da cultura do trigo. **Revista Ceres**. Viçosa, v. 59, n. 1, p. 71-76, jan./fev., 2012. Disponível em: <<http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/3695/1601>>. Acesso em: 1 jun. 2016.
- OLIVEIRA, R. H.; ROSOLEM, C. A.; TRIGUEIRO, R. M. A Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Londrina, n. 28, p. 439-445, dez. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/>

0D/rbcs/v28n3/a05v28n3.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2016.

SILVA, C. R. da; SOUZA, Z. M. de. **Eficiência do uso de nutrientes em solos ácidos: manejo de nutrientes e uso pelas plantas**. São Paulo: UNESP, 1998. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/acido.htm>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

SIQUEIRA, J. O.; PAULA, M. A. Efeito de micorrizas vesículo-arbusculares na nutrição e aproveitamento de fósforo pela soja em solo sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, n. 2, p. 97-102, 1986.

SOUZA, V. C. de; SILVA, R. A. da; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, n. 3, v. 10, jul./set. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662006000300011>. Acesso em: 14 jul. 2016.

SOUZA, T. R. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n. 6, v. 47, p. 846-854, jun. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v47n6/47n06a16.pdf>>. Acesso em: 9 jun. 2016.

VALE, F. R.; VOLK, R. J.; JACKSON, W. A. Simultaneous influx of ammoninn and potassium into maize root systems: Kinetics and interactions. **Planta**, v. 173, n. 3, p. 424-431, 1988.

Vale FR, Volk RJ, Jackson WA. 1988. Simultaneous influx of ammonium and potassium into maize roots: kinetics and interactions. *Planta* 173, 424-431.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba: USP ESALQ, 1996. 513 p.

What is mycorrhiza?. **Grower's gold**, Estados Unidos, 3 mar. 2011. Disponível em: <<http://groundworkbioag.com/technology/what-ismycorrhiza/>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

WIKIPEDIA. **Ciclo do nitrogênio**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_do_nitro%C3%AAnio>. Acesso em: 4 jul. 2016.

WIKIPEDIA. **Diagrama de uma anatomia interna da folha**. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Folha>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

Unidade 3

Métodos para avaliar a fertilidade do solo e o estado nutricional de plantas

Convite ao estudo

Os vegetais necessitam de nutrientes essenciais em quantidades adequadas para que possam se desenvolver e produzir. Esses nutrientes, absorvidos pelas raízes das plantas, podem ser fornecidos pelo solo, por substratos ou por soluções nutritivas, que são conhecidos como meios de cultivo. Quando um determinado meio de cultivo é incapaz de fornecer nutrientes, ou os fornece em quantidades insuficientes, os vegetais não têm suas necessidades nutricionais atendidas.

A avaliação da nutrição mineral dos vegetais tem como principal objetivo identificar os nutrientes limitantes para desenvolvimento de uma cultura agrícola. Para termos de culturas produtivas, é importante saber o teor de cada nutriente disponível no meio de cultivo e nas plantas. É preciso ter conhecimento sobre os diversos métodos para a avaliação da condição nutricional dos vegetais.

Imagine que você, como engenheiro agrônomo, foi contratado para trabalhar em uma área com plantio de um pomar de laranja para consumo in natura na região do Triângulo Mineiro. Todos os nutrientes devem ser fornecidos em quantidades adequadas e no momento correto de acordo com a necessidade da lavoura. Foram realizadas a calagem e a adubação, levando-se em consideração as recomendações para a cultura e a expectativa produtiva, com base em prévia análise de solo. Entretanto, foi observado o aparecimento de alguns sintomas que resultaram na deformidade dos frutos, o que impossibilita a comercialização desses frutos para consumo de mesa. Desta forma, o produtor rural fez alguns questionamentos para você: por que esses sintomas surgiram? Como identificar se estão relacionados à nutrição dos vegetais? Como diagnosticar a causa específica deles? E, ainda, quais as formas de diagnóstico que podem ser utilizadas?

São muitos os métodos para que seja feito o diagnóstico de deficiências nutricionais em plantas, e esses métodos permitirão que, ao final da unidade, você elabore um laudo técnico sobre a correção e análise de solo mediante o uso da análise química. Para isso, nessa unidade, estudaremos a análise de solo, ferramenta fundamental para determinação e disponibilidade dos

diversos nutrientes para as plantas e as quantidades a serem aplicadas de cada um destes fertilizantes. Estudaremos, também, a diagnose visual e a diagnose foliar, que são instrumentos muito úteis para observar a condição nutricional dos vegetais. Todas estas ferramentas podem ser utilizadas para que seja desvendada a causa do sintoma observado nas laranjas.

Diagnose visual e foliar: métodos de extração e análise química

Diálogo aberto

O solo é bastante complexo, diversas reações ocorrem em seu interior, influenciando a disponibilidade dos nutrientes. A falta ou o excesso de qualquer elemento essencial pode afetar diretamente na qualidade e quantidade de frutos produzidos. Além disso, fatores ambientais como variação pluviométrica, ventos e calor dificultam a absorção nutricional pelas plantas.

Para diagnosticar deficiências e toxidez por nutrientes nas plantas, um dos métodos mais comuns é a diagnose visual, que tem como base a comparação visual de parte ou toda a planta com uma planta “padrão”. Uma planta padrão é aquela que apresenta produtividade superior à média nacional, que apresentará teores adequados de nutrientes em seus tecidos, sem sintomas visíveis de deficiência (MALAVOLTA; MOREIRA, 1997). Cada elemento apresenta um sintoma visível específico, no caso de existir deficiência ou demasia de algum nutriente. Um nutriente terá sempre as mesmas funções em todas as espécies de vegetais.

Outro método conhecido é a diagnose foliar, que é realizado por meio da quantificação dos níveis de nutrientes em folhas das plantas em laboratório. Estes teores encontrados são comparados com padrões nutricionais observados na literatura e não devem ser inferiores nem superiores aos considerados ideais. Conhecer e compreender os métodos de diagnoses visual e foliar podem auxiliar em uma melhor condução da cultura, em relação às deficiências nutricionais.

Você, como engenheiro agrônomo que está prestando consultoria ao produtor rural, foi chamado para observar o viveiro de mudas de laranjas da propriedade. Ao chegar no local e analisar as plantas, foram observados a diminuição do brilho das folhas e o amarelecimento de bordas de folhas velhas, que resultaram na redução do tamanho das folhas e galhos desfolhados. Foi descartado como causa o ataque de pragas ou de doenças. O substrato parecia estar, suficientemente, úmido e, para o estágio de desenvolvimento das plantas, o fornecimento de nutrientes e o pH do meio de cultivo estavam ideais, de acordo com a análise laboratorial apresentada. Entretanto, os sintomas visuais generalizados e simétricos nas plantas sugerem algum tipo de desequilíbrio nutricional. Como isso poderia acontecer? Qual seria o desequilíbrio presente naquelas plantas? Como solucionar o problema antes das mudas estarem prontas para irem a campo? Como evitar que a produção

seja prejudicada, se quando os sintomas visuais aparecem nos frutos, estes já estarão comprometidos?

Nessa seção conheceremos os diferentes métodos diagnósticos para compreensão da condição nutricional dos vegetais. Ao final do estudo, você será capaz de diferenciar sintomas de deficiência e de toxidez por nutrientes utilizando a diagnose visual e foliar. Objetiva-se, também, compreender a correta amostragem para a realização de diagnose foliar.

Não pode faltar

O conceito de diagnose visual tem como base a comparação de características relacionadas à aparência, como cor, tamanho e forma em amostras de plantas com um padrão para aquela determinada espécie. De acordo com Faquin (2005), a folha é comumente utilizada para a avaliação, pois é o órgão que melhor representa a condição nutricional de um vegetal. Entretanto, outras partes da planta podem ser utilizadas na diagnose visual.

A diagnose visual pode ser utilizada para identificar a deficiência e o excesso de algum nutriente. Um determinado elemento tem a mesma função em todas as plantas (MALAVOLTA, 2006). Seguindo este preceito, podemos concluir que a falta ou excesso de um nutriente provocará o mesmo sintoma visual em todas as plantas. Entretanto, é importante lembrar que, antes do surgimento de sintomas visuais, diversos outros problemas irreversíveis já ocorreram e que, muito provavelmente, toda a produção pode já ter sido comprometida. Em alguns casos, o crescimento e a produção são limitados sem que ocorra nenhum sintoma visual. A esta limitação chamamos de “fome” ou “toxidez oculta”, quando a escassez ou a demasia de nutrientes são leves.



Refleta

Se, quando os sintomas visuais de deficiência são detectados, a produção já estará comprometida, então por que realizar esta metodologia? Devemos entender que esta ferramenta é fundamental para a avaliação da condição nutricional da cultura e para o planejamento de futuras adubações na área.

Quando trabalhamos com plantas, os sintomas visuais causados por desordens nutricionais podem ser confundidos com outros sintomas de outras desordens. Este é um fator que dificulta o diagnóstico correto. Fatores bióticos e abióticos podem induzir sintomas parecidos com os nutricionais, como: pragas, doenças, fatores climáticos ou físicos do solo, ou toxidez por produtos químicos e defensivos (FAQUIN, 2005).

Uma das características que devem ser observadas para se identificar um sintoma de ordem nutricional, minimizando as chances de erro, é observar a distribuição do sintoma na área cultivada. Um sintoma visual de origem nutricional deve aparecer em diversas plantas em um mesmo local, de forma generalizada. Sintomas em plantas isoladas ou em reboleira são originados por outros motivos. Se estiver presente em algumas plantas, pode ser resultado de alguma doença ou ataque de insetos.



Exemplificando

Em uma lavoura de soja são observados em área total os seguintes sintomas visuais em folhas velhas: clorose generalizada e uniforme; cor verde-azulada com amarelecimento das margens; clorose e necrose das pontas e margens. Sabendo-se que essas são características de deficiências nutricionais, à qual nutriente esses sintomas estão relacionados? O sintoma de clorose em folhas velhas é tipo de deficiência de nitrogênio (N). Esse sintoma é muito parecido com a deficiência de fósforo (P). Entretanto, para o fósforo a clorose ocorre apenas nas bordas das folhas. O terceiro sintoma, clorose e necrose das pontas e margens de folhas, é típico de deficiência de potássio (K). Todos esses sintomas ocorrem em folhas velhas, por serem esses nutrientes móveis dentro das plantas, sendo facilmente exportados das folhas velhas para as folhas novas.

Outra maneira de diferenciar sintomas visuais de ordem nutricional ou não diz respeito às características visuais dos sintomas. A apresentação simétrica entre as folhas da planta, entre folhas do mesmo ramo e em todos os lados da planta são típicas de deficiências nutricionais. Outros tipos de danos na parte aérea das plantas apresentam-se de forma assimétrica e podem ocorrer em apenas um dos lados.



Assimile

Além de conhecermos a parte da planta em que os sintomas se manifestam (em tecidos novos ou tecidos velhos) é muito importante, também, conhecer e diferenciar os sintomas de deficiência e toxidez de cada nutriente. Esses sintomas são semelhantes em todos os vegetais. Entretanto, em algumas culturas a avaliação pode ocorrer em órgãos diferentes da planta. Isso pode ocorrer, por exemplo, em frutos, flores e raízes.

Na Tabela 3.1 é apresentada uma classificação geral de sintomas de toxidez e de deficiência em plantas. Por ser uma classificação geral, os sintomas podem

apresentar variações entre espécies. Entretanto, é uma avaliação funcional para a identificação de sintomatologia em campo. De acordo com os sintomas apresentados em associação com o conhecimento das especificidades da cultura, a ferramenta da diagnose visual é muito importante para a elaboração de laudo e avaliação nutricional de uma cultura em campo.

Tabela 3.1 | Identificação generalizada de sintomas de toxidez (+) e de deficiências (-)

Sintomas de deficiência (-) ou toxidez (+)	Causa
Folhas ou órgãos mais velhos	
1. Amarelecimento generalizado uniforme.	- N
2. Cor verde-azulada, podendo ocorrer amarelecimento nas bordas das folhas.	- P
3. Amarelecimento com subsequente necrose das ponteiros nas margens das folhas.	- K
4. Amarelecimento entre as nervuras seguida ou não da cor vermelhora.	- Mg
5. Murchamento de folhas murchas, amarelecimento e bronzeamento.	- Cl
6. Amarelecimento uniforme de folhas com estrangulamento do limbo e manchas pardas internervais, encurvamento (ou não) do limbo.	- Mo
7. Coloração verde-azulada com possível amarelecimento das margens.	+ Al
8. Pequenas pontuações pardas próximas às nervuras, encarquilhamento e amarelecimento associados a internódios curtos.	+ Mn
9. Amarelecimento mosqueada perto da margem, manchas secas perto das margens e na ponta.	+ B
10. Manchas aquosas e depois negras no limbo entre as nervuras.	+ Cu
11. Semelhante aos sintomas do nitrogênio, muito pouco comum.	- Co
Folhas ou órgãos mais novos	
1. Murchamento, colapso do pecíolo, clorose marginal; manchas nos frutos; morte de ápices caulinares.	- Ca
2. Amarelecimento uniforme.	- S
3. Folhas pequenas e com deformações; morte de ápices caulinares; encurtamento de internódios; superbrotamento; fendas nos caules.	- B
4. Murchamento, cor verde-azulada, deformação do limbo; encurvamento dos ramos; deformação das folhas; exsudação de goma (ramos e frutos).	- Cu
5. Amarelecimento, nervuras em reticulado verde e fino.	- Fe
6. Amarelecimento, nervuras em reticulado verde e grosso, tamanho normal.	- Mn
7. Lancioladas, amarelecimento entre nervuras, encurtamento de internódios; morte de ápices caulinares ou região de crescimento.	- Zn
8. Necrose de pontas de ramos.	- Ni

Fonte: Adaptada de Faquin (2002) e Malavolta (2006).



Exemplificando

Os sintomas de deficiência nutricional podem ocorrer em folhas velhas ou novas, devido à redistribuição dos nutrientes na planta. Alguns nutrientes podem ser mais móveis do que outros. Um nutriente móvel em escassez será transportado para os tecidos mais novos das plantas; isto não acontece com os nutrientes pouco móveis ou imóveis. Estes conceitos são aplicados aos nutrientes essenciais para as plantas no Quadro 3.1:

Quadro 3.1 | Capacidade de redistribuição de nutrientes associados à idade dos órgãos em que ocorre

Nutrientes	Redistribuição	Local de ocorrência do sintoma
N, P, K e Mg	Móveis	Folhas velhas
S, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo	Pouco móveis	Folhas novas
B e Ca	Imóveis	Folhas novas e meristemas

Fonte: adaptado de Faquin (2002, [s.p.]).

A análise de tecidos vegetais, ou diagnose foliar, serve para analisarmos teores dos nutrientes nas partes aéreas das plantas em um momento específico. Associando a análise foliar à de solo é possível traçar um panorama da condição nutricional dos vegetais e da qualidade da adubação da cultura. A diagnose foliar é, ainda, mais importante para a quantificação de N, pela dificuldade em ser feita via análise de solo e de micronutrientes, que são pouco distinguíveis via análise visual. A importância da realização da diagnose foliar pode ser explicada por três relações básicas simples:

- A dose aplicada de adubo x produção: um solo mais fértil tende a gerar uma produção maior que um solo de baixa fertilidade.
- A dose de adubo x teor foliar: o aumento da disponibilidade de um nutriente no solo tende a gerar um aumento no teor foliar desse nutriente.
- O teor foliar x produção: o aumento do teor foliar de nutrientes cria incremento da produção.

Entre as três relações podemos destacar a terceira premissa, que se refere ao teor foliar e à produção, podendo dividi-la em diferentes zonas que estudamos brevemente na Unidade 1:

- Zona de deficiência: há sintomas visíveis de deficiência, mesmo com a existência do nutriente no meio de cultura, este estará em níveis insuficientes para atender à demanda.
- Zona de transição: podem existir deficiências sem, no entanto, o

aparecimento de sintomas visíveis (fome oculta), a produção poderá ser prejudicada.

- Zona de consumo de luxo: mesmo com o aumento da concentração do nutriente, não haverá aumento da produção. O meio de cultivo já possui o nutriente em quantidades adequadas.
- Zona de toxicidade: o aumento da concentração do nutriente gera perda na produção.

Observando as zonas apresentadas no parágrafo anterior, podemos perceber que a relação entre o teor foliar do nutriente e a produção ideal estaria entre a zona de transição e a zona de consumo de luxo. Na zona de consumo e de luxo, a planta já é capaz de atingir sua produção máxima, portanto o maior teor do nutriente na folha não vai gerar acréscimo produtivo, sendo o gasto com fertilizantes desnecessário e dispendioso.



Assimile

A análise visual e a análise foliar são metodologias complementares e podem ser utilizadas em associação a outros métodos, como a análise de solo, para a elaboração de um laudo do condição nutricional de uma determinada cultura agrícola.

A amostragem é a fase mais importante da diagnose foliar e também é quando pode ocorrer a maior parte dos erros, devendo ser bastante criteriosa e seguir as orientações para cada cultura. Os teores adequados podem variar com a idade da folha e da própria planta, em função da redistribuição. Com o aumento da idade da folha, os nutrientes mais móveis tendem a migrar para outros órgãos mais novos da planta. O raciocínio contrário pode ser utilizado para os nutrientes imóveis e pouco móveis, a tendência é que os teores desses nutrientes sejam maiores nas partes mais velhas da planta. Desta maneira, devemos lembrar que o teor foliar em uma época deverá ser diferente em outra época e que a padronização da amostragem, considerando-se a idade da folha e da planta, é necessária.



Pesquise mais

A análise foliar é uma ferramenta fundamental para a análise do estado nutricional de uma cultura. Sua utilização em culturas já estabelecidas pode servir como subsídio para a elaboração de planos de adubação e reposição de nutrientes retirados em excesso do solo. A seguir é sugerida a leitura de um artigo científico que aborda, exatamente, essas questões. Boa leitura!

De acordo com Faquin (2005), para que menos fatores externos interfiram sobre o teor de nutrientes das folhas, devemos realizar a amostragem seguindo algumas recomendações:

- Em área homogênea, amostragem em zigue-zague, com padronização de época e folha.
- Não coletar amostras de plantas que estejam próximas a estradas, corredores ou plantas que tenham sido atacadas por pragas ou doenças.
- Não misturar folhas de espécies ou cultivares diferentes.
- No caso plantas enxertadas, separar amostras da copa e do porta-enxerto.
- Não coletar amostras de folhas com idades diferentes.
- Quando houver coleta de ramos com frutos, não misturar com ramos sem frutos.
- Não amostrar quanto tiver sido feita aplicação recente de fertilizantes, defensivos ou após períodos intensos de chuva.

Segundo Faquin (2005), após a amostra ter sido obtida, ela deve ser preparada para ser analisada em laboratório, onde passará por quatro operações antes da análise: descontaminação, secagem, moagem e armazenamento.

A descontaminação é a lavagem do material vegetal, retirando a poeira e outros resíduos que podem influenciar nos resultados. Na secagem as amostras são secas em estufas com circulação forçada de ar e temperaturas de 65-70 °C por, aproximadamente, 72h. Após a secagem, é feita a moagem em moinhos de facas de aço inoxidável, tipo Willey. O armazenamento das amostras moídas pode ser feita em frascos de vidros tampados, podendo ser armazenadas por muito tempo em temperaturas baixas, protegidas da luz e umidade.

A análise química dos tecidos vegetais da amostra seca é feita no laboratório, com base na mineralização da matéria orgânica e quantificação dos elementos químicos. Os resultados obtidos devem, então, ser comparados com o padrão, que seria uma planta ideal em relação à nutrição mineral. Esse padrão é estabelecido por meio da pesquisa e com base na literatura atualizada disponível. Na falta de padrões para uma determinada análise, podem ser criados padrões para uma situação particular, empregando-se a análise de plantas com aparência normal e boa produtividade.



Refleta

Estudamos que o teor de nutriente nas folhas das plantas pode indicar deficiência nutricional na cultura. Como poderíamos prevenir ou reduzir os efeitos do fundo preto em tomate utilizando a diagnose foliar? A constatação de que a concentração de Ca nos tecidos foliares era baixa auxiliaria na recomendação de pulverização nos frutos com este nutriente como forma preventiva.

Os sintomas de deficiência e de toxidez por nutrientes nem sempre se manifestam isoladamente nas plantas. Em condições de campo é muito comum que mais de um sintoma visual ocorra ao mesmo tempo. Desta maneira, é de grande importância que cada cultura seja estudada profundamente para que se possa compreender as necessidades típicas de cada uma e, assim, seja possível associar os conhecimentos prévios às sintomatologias visuais observadas em campo.



Exemplificando

Em uma diagnose foliar em lavoura de milho, constatou-se toxidez por alumínio (Al). Quais seriam os sintomas visuais dessa toxidez? O Al presente, principalmente em solos de Cerrado, é tóxico às plantas, prejudicando o desenvolvimento e a absorção de diversos nutrientes pelas plantas. O sintoma visual clássico dessa toxidez caracteriza-se pela cor verde-azulada com amarelecimento das margens em folhas velhas.

Sem medo de errar

Na situação-problema proposta, em um viveiro de mudas de laranjas foram observados diminuição do brilho das folhas e o amarelecimento de bordas de folhas velhas, que resultaram na redução do tamanho das folhas e galhos desfolhados. Foi descartado como causa o ataque de pragas ou de doenças. Havia água suficiente para o estágio de desenvolvimento das plantas, e o fornecimento de nutrientes e o pH do meio de cultivo estavam ideais. Entretanto, os sintomas visuais generalizados e simétricos nas plantas sugeriam algum tipo de desequilíbrio nutricional.

Durante nossos estudos descobrimos que a deficiência nutricional pode gerar diversos danos ao desenvolvimento das culturas agrícolas. No caso específico relatado, os sintomas apareceram em folhas velhas. Isso nos leva a crer que, se o desequilíbrio nutricional relatado for causado por deficiência de algum nutriente, ele tende a ser móvel, pois em ausência ele teria sido exportado para as folhas mais novas.

Pelos sintomas apontados, aparentemente, o que está ocorrendo é uma deficiência de fósforo (P) nas mudas de laranja. Mesmo que este nutriente estivesse em concentrações adequadas, algum fator externo pode ter causado esta deficiência, evitando que o nutriente fosse absorvido pelas plantas. Desta forma, é possível compreender que, mesmo com uma concentração de P satisfatória no meio de cultivo, esse macronutriente não foi capaz de ser transportado até os frutos.

Em primeiro lugar, devemos realizar a análise de solo de forma correta, esta é a principal ferramenta para que se elabore um plano de adubação adequado para a cultura. Apenas essa análise não seria suficiente, seria preciso realizar a avaliação da condição nutricional dos vegetais. A diagnose visual foi fundamental para identificação da deficiência. Entretanto, mesmo que na diagnose visual não fossem encontradas deficiências, ainda assim, poderia ser solicitada uma diagnose foliar. Com esta ferramenta seria possível identificar a deficiência química de P. Por meio dessa diagnose seria possível saber em qual zona de classificação estaria cada nutriente presente nas amostras (deficiência, transição, consumo de luxo ou toxicidade) e como adequar o plano de adubação.

Na avaliação da condição nutricional de uma cultura agrícola a diferença entre perdas e ganhos de produtividade pode representar um pequeno intervalo, dentro do fornecimento de nutrientes para as plantas. A aplicação correta de fertilizantes não é o único fator que irá influenciar na nutrição mineral dessas plantas. Para que possamos avaliar o padrão nutricional da cultura, em seu meio de cultivo, devemos lançar mão de todas as ferramentas disponíveis. Diagnoses visuais e foliares podem auxiliar na determinação da condição nutricional das culturas, desde a de deficiência até a toxidez.



Atenção

Os sintomas de deficiência podem muitas vezes ser confundidos. Devemos considerar as condições de cultivo em campo antes de finalizar um diagnóstico visual. Além disso, devemos sempre lembrar que os sintomas visuais são a última etapa de processos metabólicos irreversíveis e que, quando se manifestam, grande parte da cultura já terá sido perdida.

Avançando na prática

Desequilíbrio nutricional em lavoura cafeeira

Descrição da situação-problema

Suponhamos que você venha a se tornar um profissional especialista em diagnose visual de plantas. Depois de muito treinamento, você passou a

reconhecer os sintomas visuais ligados à nutrição mineral de plantas e associá-los às diferentes formas de deficiência e toxidez que uma cultura pode sofrer em relação a cada nutriente.

Durante um de seus trabalhos, você foi contratado para avaliar a condição nutricional de uma lavoura de café no sul de Minas Gerais. Ao chegar na propriedade, logo percebeu que havia um amarelecimento generalizado (clorose) em folhas das plantas. Ao realizar seus trabalhos em campo, você descobriu que o amarelecimento se concentrava em folhas velhas, mas não ocorria em folhas novas. De acordo com os sintomas apresentados você diria que essa lavoura apresenta deficiência ou toxidez de um nutriente? Qual seria esse nutriente?



Lembre-se

Muitas vezes um mesmo sintoma pode se manifestar em tecidos jovens ou em tecidos velhos. Isso é causado pela redistribuição do nutriente na planta.

Resolução da situação-problema

Analisando a situação geral da cultura, a clorose generalizada de folhas nos levaria a crer que o que está ocorrendo seriam sintomas clássicos de deficiência de nitrogênio (N) ou enxofre (S). Para diferenciar os dois tipos de deficiência devemos ficar atentos a um detalhe, a deficiência ocorre em folhas velhas e não em folhas novas. Sabemos que o N é um elemento móvel dentro da planta e que o S é pouco móvel, e que o nutriente encontra-se em um teor inferior ao necessário e migrará das folhas velhas para as novas (os sintomas ocorreram em folhas velhas), portanto a deficiência só pode ser de N.



Faça você mesmo

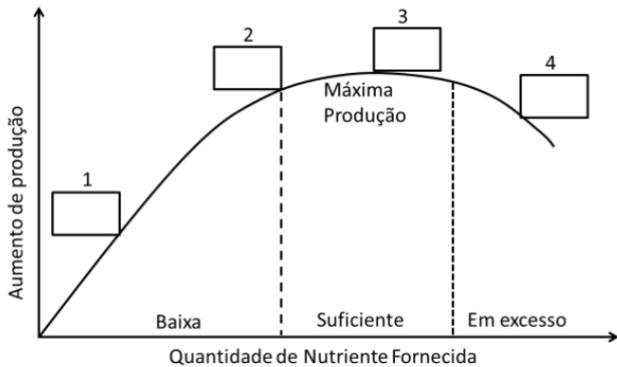
Faremos, agora, a suposição de que você tenha sido contratado para prestar serviços de avaliação nutricional para um grande produtor rural. Inicialmente, você havia sido informado de que, para a área cultivada com citros, foi feita uma diagnose foliar e que foram constatadas as seguintes informações para cada nutriente:

- Deficiência para o nitrogênio (N).
- Para o fósforo (P), o teor do nutriente estava entre a deficiência e o consumo de luxo.
- Para o potássio (K), havia consumo de luxo.
- Para o enxofre (S), existia toxidez.

Relacionando o teor foliar ao aumento da produção, foi solicitado que fosse inserida a sigla de cada um dos nutrientes listados anteriormente

na caixa mais adequada (de 1 a 4) no gráfico representativo da Figura 3.1, a seguir:

Figura 3.1 | Representação da relação entre o teor foliar e o aumento da produção, de acordo com os diferentes nutrientes para o cultivo do citros



Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena

1. A diagnose foliar é uma ferramenta de grande importância para avaliar a condição nutricional dos vegetais.

O conceito de diagnose visual da avaliação nutricional de plantas tem como base a:

- Avaliação química dos nutrientes presentes nas plantas.
- Avaliação de resultados de análise de solo.
- Avaliação visual dos nutrientes no solo.
- Avaliação química dos nutrientes no solo.
- Avaliação visual de características das plantas.

2. A diagnose visual é uma metodologia com base na observação de sintomas na parte aérea de plantas.

Em relação à constatação de sintomas em diagnose visual, marque a alternativa correta:

- A constatação de sintomas garante a recuperação da produção de qualquer cultura.
- Representam a última etapa de problemas irreversíveis, produção comprometida.
- Sempre estarão relacionados à deficiência nutricional de algum nutriente.
- Permitem correção imediata dos problemas nutricionais, sem maiores problemas.
- Representam uma técnica muito mais eficiente do que a análise de solo.

3. Pelo método de diagnose visual é possível identificar a deficiência e o excesso de diversos nutrientes nas plantas.

Com relação à função dos nutrientes nas plantas, marque a alternativa correta:

- a) Um determinado elemento pode exercer funções diferentes dependendo da planta.
- b) Mesmo que um elemento estiver ausente, ele exercerá sua função nas plantas.
- c) A função dos elementos não está relacionada aos sintomas visuais de deficiência.
- d) Um determinado elemento exerce a mesma função em todas as plantas.
- e) A função do elemento é inversamente proporcional ao sintoma visual apresentado.

Amostragem de solo

Diálogo aberto

Nas seções anteriores, estudamos que, para o pleno desenvolvimento das culturas agrícolas, devem ser fornecidas quantidades adequadas de macro e micronutrientes. Uma parte desses nutrientes está disponível no meio de cultivo, sendo utilizada pelos vegetais. Entretanto, as diferentes espécies vegetais cultivadas apresentam necessidades nutricionais diferentes. Além disso, nem todos os elementos requisitados para que as culturas se desenvolvam e produzam satisfatoriamente estão disponíveis em quantidades adequadas no solo. Como, então, fornecer a dose certa de nutrientes para as plantas? Como saber se os nutrientes presentes no solo estarão disponíveis em quantidades satisfatórias?

A maneira mais simples de avaliar as características químicas e físicas de um solo é por meio da análise de solo. Para que essa análise seja realizada, é necessário que seja retirada uma mistura de pequenas porções de solo de uma mesma área que, somadas, formam a amostra de solo. O processo de retirada dessa amostra é conhecido como amostragem de solo.

Como visto na seção anterior, desequilíbrios nutricionais podem causar graves danos a uma cultura agrícola. Em uma determinada plantação de laranjas foram observadas deformidades nos frutos e sintomas claros de desequilíbrio nutricional nas plantas, apesar de terem sido feitas calagem e adubação de acordo com a recomendação de uma análise de solo. Esta falha na produtividade impossibilitava a comercialização dos frutos para consumo in natura, reduzindo a qualidade de produtividade.

E você foi contratado para descobrir o motivo desse desequilíbrio nutricional, no qual há diversos sinais visuais de deficiência. A área plantada era de aproximadamente 100 hectares. Adubações e calagem foram realizadas com base em apenas um resultado de análise de solo que foi feita por ocasião da implantação da lavoura, com o objetivo de se descobrir o que havia de nutrientes disponíveis no solo e em quais quantidades. Entretanto, se as aplicações de calcário e fertilizantes foram realizadas de acordo com análise de solo, como podem ocorrer sintomas de deficiência na lavoura? O que pode ter ocorrido de errado? Como ter certeza de que as amostras coletadas representavam bem a fertilidade do solo da área?

Nessa seção iremos descobrir como realizar uma amostragem de solo de forma correta, seguindo os parâmetros adequados e que representem,

corretamente, a fertilidade de um solo estudado. Isso nos permitirá elaborar um laudo técnico da composição química, disponibilidade de nutrientes e da textura desse solo para que a condução da lavoura, com adubação equilibrada, seja realizada nesta área.

Não pode faltar

A análise de solo é uma das práticas mais importantes do manejo, sendo eficiente agronomicamente, ambientalmente correta e lucrativa. Por meio dela é possível determinar a disponibilidade de nutrientes, indicar ao agricultor o nível de deficiências ou toxidez de nutrientes, determinar a necessidade de fertilizantes e de calcário para correção de acidez.

A amostragem de solo é uma prática que consiste em retirar pequenas porções de solo para que sejam analisadas em laboratório. Entretanto, para que estas amostras sejam representativas de uma área (que normalmente tem diferenças químicas e físicas em seu solo), é importante que saibamos a diferença de amostras simples e compostas. As amostras simples (ou subamostras) são as porções de solo coletadas em uma área homogênea a uma mesma profundidade. Uma amostra composta consiste em um conjunto de 15 a 20 amostras simples, para uma área de 10 hectares (ha), que devem ser enviadas ao laboratório de análises, em uma quantidade de 300 a 500 gramas.

A coleta de amostras é a atividade em que existe a maior possibilidade de incidência de erro em uma análise de solo. Uma única amostra analisada em laboratório pode representar a fertilidade de solo de até 10 ha de uma área a ser cultivada. Caso o procedimento de amostragem seja feito de forma inadequada, toda a compreensão da fertilidade do solo de um terreno será comprometida.

Por outro lado, caso a amostragem seja feita de forma correta é possível que se obtenha uma amostra representativa que, após a análise laboratorial, será capaz de indicar uma representação confiável dos nutrientes presentes no solo estudado, representando a existência e a disponibilidade de cada um deles. Quanto maior a área a ser estudada, maior será a quantidade de amostras necessárias para que uma boa estimativa da fertilidade de solo desta área seja obtida. Assim, realizar uma boa amostragem de solo é fundamental para o planejamento correto da adubação de uma cultura e da real disponibilidade de nutrientes de uma área.



Refleta

Já estudamos que a disponibilidade de nutrientes para as plantas é fundamental para que uma cultura se desenvolva de forma satisfatória. Descubramos que é a partir da coleta de amostras de solo que é feita a análise de solo.

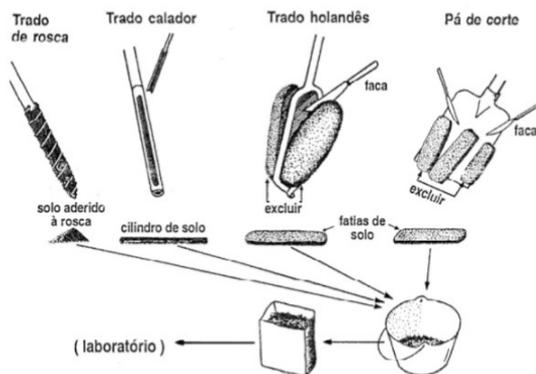
Mas, como obter o máximo de confiança de uma análise? E se uma amostra tiver sido, acidentalmente, coletada em um local onde foram armazenados fertilizantes, superestimando os valores de nutrientes observados na análise de solo? A amostragem de solo deve seguir parâmetros rigorosos de coleta, buscando sempre obter amostras compostas homogêneas e representativas de uma determinada área a ser cultivada.

Antes de realizar a amostragem de solo, deve-se dividir a propriedade em glebas, que são áreas com a mesma topografia, textura, classificação e cobertura de solo, mesma calagem e adubação. Esta divisão de glebas busca a uniformidade de acordo com características físicas, manejos culturais anteriores e especificidades de cada local.

Após a divisão da área, deve ser elaborado um croqui, nomeando-se cada gleba e demarcando-as permanentemente. Desta maneira, identifica-se a evolução da fertilidade da área com o passar dos anos. As glebas nunca devem ter tamanho superior a 20 ha, pois com o aumento da área, aumenta-se, também, a possibilidade da área tornar-se muito heterogênea. Quando for realizada amostragem em áreas de culturas perenes, devem-se separar as glebas por idade e variedade das plantas e níveis de produtividade.

Para a realização da amostragem de solo, podem-se utilizar diversas ferramentas, desde o tradicional enxadão até os mais variados tipos de trados. O trado faz com que a operação torne-se muito mais rápida e simples, garantindo amostras uniformes e padronizadas, nas profundidades adequadas, e que a mesma quantidade de solo será retirada em todos os pontos amostrados. Alguns dos tipos mais utilizados de trado são apresentados na Figura 3.2, sendo o trado holandês o mais conhecido.

Figura 3.2 | Tipos de trado para amostragem de solo



Fonte: Cantarutti et al. (1999, [s.p.]).

Além da utilização de trado ou outra ferramenta para a retirada das amostras, é preciso que se utilize um balde plástico limpo para a alocação das amostras simples retiradas da área. Isso é muito importante para que as amostras não sejam contaminadas. Caso sejam feitas amostragens em profundidades diferentes, as amostras coletadas em cada profundidade devem ser colocadas em baldes diferentes. Caso sejam utilizadas facas ou outros equipamentos para facilitar a retirada das amostras dos trados, devem ser utilizadas ferramentas em bom estado de conservação, que não apresentem sinais de ferrugem.

Para a maior parte das culturas agrícolas, a coleta de amostras simples é feita na camada de 0 a 20 cm. Entretanto, o mais importante é que a amostragem ocorra na profundidade em que existe a maior concentração de sistema radicular. A amostragem de camadas mais profundas é feita em áreas novas, principalmente para implantação de culturas perenes, podendo ser feitas de 20 a 40 e 40 a 60 cm. Este tipo de amostragem tornará possível a avaliação da necessidade da correção de solo, acidez elevada, altos teores de alumínio (Al^{3+}) ou baixos teores de cálcio (Ca^{2+}).



Exemplificando

A amostragem de solo é uma ferramenta fundamental para a implantação de uma cultura anual como o milho. Normalmente, é feita durante o outono. Com essa ferramenta, é possível que se façam correções de acidez de solo e adubação.

Para culturas perenes, como o café, também é importante que se faça uma amostragem periódica. Com os resultados de análise de solo, é possível saber se os nutrientes presentes no solo (principalmente micronutrientes) estão em níveis adequados para o estágio de desenvolvimento da cultura. É importante, ainda, para que se quantifique a aplicação de fertilizantes antes do período produtivo das plantas, por exemplo.

Quando forem realizadas amostragens em profundidades diferentes, as amostras simples devem ser coletadas em igual número e nos mesmos pontos para todas as profundidades dentro da gleba trabalhada. A partir dessas amostras simples, serão elaboradas amostras compostas para cada camada (Por exemplo: 0 a 20 cm e 20 a 40 cm).

Para uma correta amostragem, de forma homogênea, e para que existam amostras simples de toda a área da gleba, devem ser evitados locais próximos a cupinzeiros, formigueiros, residências, currais, galinheiros, estadas, depósitos de fertilizantes ou calcário e onde existam manchas de fertilidade

de solo. A amostragem de solo pode ser realizada de duas formas distintas, dependendo da tecnologia empregada na propriedade agrícola: por meio da amostragem ao acaso e da sistematizada (LOPES, 1998).

A amostragem ao acaso é a forma tradicional de se realizar este procedimento. Deve-se percorrer o terreno em um caminhamento do tipo zigue-zague coletando-se até 20 amostras simples por gleba. Em cada ponto de coleta, os detritos e restos culturais devem ser levemente retirados, tomando-se o cuidado de não afetar a camada superficial do solo. O trado deverá ser marcado, com o auxílio de uma trena na profundidade que se pretende amostrar, e introduzido no solo até esta marca. Quando a profundidade desejada for atingida, deve-se retirar o equipamento do solo, sem deixar que a mostra se desmanche. Deve-se raspar a lateral do trado para se tirar o excesso de solo, aproveitando apenas a parte central, conforme demonstrado na Figura 3.3.

Figura 3.3 | Amostragem de solo utilizando trado holandês



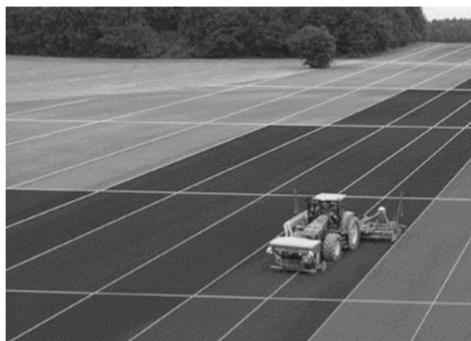
Fonte: acervo do autor.

Após a coleta das amostras simples, todo o solo dentro do balde plástico deverá ser bem misturado, quebrando-se os torrões. Isso é importante para que as amostras simples, representativas da área, estejam bem homogeneizadas para a composição da amostra composta. Misturas malfeitas podem resultar em grandes erros na análise de solo. Após a homogeneização do solo coletado, será formada a amostra composta. Parte da amostra composta, aproximadamente 500 gramas, deve ser embalada e identificada. Vários tipos de embalagens podem ser utilizados, sendo a mais comum os sacos plásticos transparentes. Muitos laboratórios de análise de solo fornecem embalagens adequadas. Quanto à identificação da amostra, é importante que tenha o nome da propriedade/ produtor rural, a data da coleta, a profundidade de coleta e o nome da gleba coletada. As amostras devem ser guardadas em local

seco e arejado, protegidas da chuva e do sol, e encaminhadas, rapidamente, para a análise laboratorial (LOPES, 1998).

A partir da evolução da Agricultura de Precisão, surgiu o conceito da amostragem sistematizada para áreas de cultivo. A maneira mais fácil para que seja realizada a amostragem sistemática de solos é a sobreposição de uma grade, retangular ou quadrada, em uma fotografia aérea ou mapa (Figura 3.4). Isso permite que sejam coletadas amostras individualizadas dentro de cada uma das cédulas representadas. A amostragem pode ser ao acaso, com diversas amostras simples, ou pontual, quando as amostras são coletadas em um raio de três a seis metros de um ponto central (COELHO, 2003).

Figura 3.4 | Sobreposição de grade sobre representação de área a ser amostrada



Fonte: Agroiintel (2016, [s.p.]).



Pesquise mais

A tecnologia da Agricultura de Precisão permite a aplicação da quantidade ideal de fertilizantes. No trabalho a seguir foi realizada a avaliação dos atributos de solo por meio da amostragem sistematizada, feita na profundidade de 0 a 20 centímetros. Observaram-se variações nos teores de Ca, Mg, P, K e S em lavoura cafeeira.

SILVA, Adriane de Andrade et al. Mapas de fertilidade de solo em área manejada com agricultura de precisão cultivada com café. **Brazilian Geographical Journal**: Geosciences and Humanities research medium, Uberlândia, v. 5, n. 1, 2014.



Assimile

Para que se tenha uma análise de solo eficiente, é fundamental que a amostragem seja realizada de forma correta. Devem ser feitas coletas de amostras simples e com ferramentas adequadas. A gleba onde deverá ser

feita a amostragem deve ser homogênea e devem ser evitadas coletas de amostras em partes de terreno que possam conter alterações químicas e físicas artificiais.

Sem medo de errar

Na situação real proposta, havia uma área de 100 hectares cultivada com uma lavoura de laranjas onde existiam sintomas visuais de deficiência nutricional. Foi realizada a adubação e a calagem com base em uma análise de solo feita antes que a cultura estivesse em campo. Entretanto, apesar do manejo nutricional aparentemente adequado, o fornecimento de nutrientes às plantas não foi suficiente para que a produção fosse satisfatória. Onde pode ter ocorrido o problema?

Provavelmente aconteceu algum erro na realização da análise de solo. Os resultados dessa análise podem ter superestimado a disponibilidade de algum nutriente no solo. Entretanto, isso não quer dizer que o laboratório cometeu um equívoco durante a análise, comprometendo os resultados. No relato da situação proposta foi informado que havia sido feita análise de apenas uma amostra de solo para uma área de 100 ha.

A amostragem de solo para este terreno não foi adequada. Uma amostra composta consiste em um conjunto de 15 a 20 amostras simples, para 10 ha. Nesse terreno, deveriam ter sido retiradas, ao menos, dez amostras compostas, uma para cada hectare. A única amostra que foi feita não era representativa quanto às características físicas e químicas da área.

Para que o problema relatado fosse resolvido, deveria ser feita uma nova amostragem do solo. Por mais que a área fosse considerada homogênea, com certeza havia diferenças na fertilidade do solo. A área deveria ser dividida em dez glebas de 10 ha cada. Poderia ser realizada uma amostragem ao acaso percorrendo o terreno em um caminhar do tipo zigue-zague. Em cada ponto de coleta as amostras de 0 a 20 centímetros seriam coletadas com auxílio de um trado. Essas amostras simples deveriam ser colocadas dentro de um balde plástico e, posteriormente, formado uma amostra composta, com aproximadamente 500 gramas. As dez amostras compostas formadas deveriam ser enviadas para o laboratório de análise de solo. Os resultados demonstrariam as necessidades de nutrientes para cada gleba, atendendo à demanda nutricional da cultura.



Atenção

Uma amostragem correta de solo, entre outros fatores, deve ser feita por meio de amostras simples e amostras compostas. Isso permite que seja criada uma boa representatividade e homogeneidade da fertilidade do solo da área em estudo. Os resultados da análise permitirão a recomendação adequada de calcário e fertilizantes, além de possibilitar a construção de um mapa da evolução da fertilidade do solo de cada gleba durante os anos de cultivo.

Avançando na prática

Produção deficitária de cebola

Descrição da situação-problema

Uma empresa que produz cebolas, com alta tecnologia, na região do Triângulo Mineiro solicitou seus serviços, como engenheiro agrônomo, para correção de um problema durante o ciclo de cultivo, que resultava em perdas na qualidade do produto. Ao chegar ao local de cultivo foi observado que havia um sintoma visual, de forma generalizada, que era um amarelecimento de folhas novas nas plantas de cebola.

De acordo com o responsável pela área, havia sido feita a calagem e a adubação das plantas seguindo as orientações para a cultura e com base em uma análise de solo. A irrigação era adequada e não havia interferência de insetos e doenças nas plantas. Ao conferir a análise de solo, que tinha aproximadamente cinco anos, foi possível atestar que o fornecimento de nutrientes e calagem haviam, realmente, sido feitos adequadamente.

Desta forma, o que poderia estar causando os sintomas visuais, que pareciam estar diretamente ligados à deficiência nutricional? Obviamente a disponibilidade de algum nutriente foi inadequada. Amarelecimento em folhas novas é um sintoma típico de deficiência de enxofre (S), que pode ocorrer em aliáceas (como a cebola e o alho) com relativa facilidade, pela exigência nutricional deste nutriente pelas plantas. Entretanto, a análise de solo demonstrava que a aplicação desse nutriente foi suficiente para não gerar deficiência nutricional.



Lembre-se

A análise de solo é uma ferramenta importante para que se conheça a fertilidade do solo e as necessidades de aplicação de fertilizantes e calcário. Entretanto, assim como a análise foliar, a análise de solo deve ser feita com frequ-

ência, pois a disponibilidade de nutrientes pode ser alterada pela dinâmica do solo com o passar do tempo.

Resolução da situação-problema

O desequilíbrio nutricional relatado é causado pela baixa disponibilidade e, conseqüente, deficiência de S na planta. A deficiência ocorreu, apesar de, aparentemente, ter sido fornecido S em quantidades ótimas para o desenvolvimento da cultura. Na verdade, o fornecimento de S foi inadequado. A cebola é uma cultura muito exigente em S e, com o passar dos anos, o suprimento do nutriente no solo não foi feito de forma correta.

A análise de solo apresentada já havia sido feita há cinco anos. Durante esse tempo, a dinâmica do nutriente no solo pode ter sido alterada e ele se tornou menos disponível para as plantas. Como não havia um parâmetro atualizado do S disponível, a reposição não foi feita corretamente. Para que se saiba, com precisão, a disponibilidade de S no solo, uma nova amostragem de solo deve ser feita e, a partir das amostras coletadas, novas análises de solo poderão indicar as quantidades de fertilizantes que devem ser aplicadas na área a fim de fornecer S para a cultura.



Faça você mesmo

Imagine, agora, que você foi contratado para realizar um estudo da fertilidade do solo de uma área de uma fazenda. Sabe-se que existem 10 ha de produção de laranjas, 500 ha para a produção de culturas anuais, 200 ha de um cultivo de cana-de-açúcar e outros 200 ha de áreas de pastagem.

Você e sua equipe deverão realizar uma amostragem ao acaso do solo da fazenda utilizando trados do tipo holandês. Considerando que serão coletadas apenas amostras na camada de 0 a 20 centímetros, determine quantas amostras simples e quantas compostas serão necessárias para que seja amostrada toda a área. Indique e nomeie todas as possíveis glebas que possam ser divididas nessa fazenda.

Faça valer a pena

1. A amostragem de solo é uma prática que consiste em retirar pequenas porções de solo para que sejam analisadas em laboratório.

Com relação às amostras, marque a assertiva correta:

- As amostras simples (ou subamostras) devem ser enviadas ao laboratório para análise.
- Cada amostra composta contém de 15 a 20 amostras simples.
- Para análise, deve-se separar uma amostra de solo com, aproximadamente, um quilo.

- d) Uma amostra composta pode representar até 300 ha de solo.
- e) A análise de solo determina apenas as propriedades físicas de um solo.

2. A coleta de amostras de solo é a atividade em que existe a maior possibilidade de incidência de erro em uma análise de solo.

Com relação à amostragem de solo ao acaso, marque a assertiva correta:

- a) Na divisão de glebas não se deve considerar a cobertura vegetal ou a topografia.
- b) Durante a amostragem, as amostras devem ser acondicionadas em baldes metálicos.
- c) Para a amostragem ao acaso, deve-se percorrer o terreno em um caminhamento do tipo zigue-zague coletando-se até 20 amostras simples por gleba.
- d) Enxada e trado não são ferramentas adequadas para a amostragem de solo.
- e) Não há problema na utilização de ferramentas sujas ou enferrujadas para a realização de amostragem de solo.

3. Normalmente, a coleta de amostras de solo é feita até uma profundidade de 20 centímetros.

Com relação à profundidade de amostragem de solo, marque a assertiva correta:

- a) Coleta de amostras em profundidades superiores a 20 centímetros não devem ser realizadas.
- b) Em áreas novas a coleta de amostras em até 20 centímetros de solo é considerada ideal.
- c) Quando são realizadas amostragens em profundidades diferentes, coleta-se amostras simples em número diferente, mas nos mesmos pontos para todas as profundidades.
- d) A coleta de amostras profundas é útil para a correção de solo, de teores de Al^{3+} e de Ca^{2+} .
- e) Para amostragem em áreas com culturas perenes, coletas a 20 centímetros são suficientes.

A análise de solo como instrumento de avaliação da fertilidade

Diálogo aberto

Nas seções anteriores estudamos que, na avaliação do estado nutricional de uma lavoura, a diagnose visual e foliar são ferramentas utilizadas em campo para auxiliar na obtenção de informações quanto ao planejamento da adubação de uma área. Aprendemos as técnicas adequadas de amostragem de solo e a importância de que sejam seguidos critérios específicos para a coleta de amostras que consigam representar de forma fiel a fertilidade de uma área em uma análise de solo.

Na Seção 3.1 foi proposta a seguinte situação: em uma determinada plantação de laranjas foram observadas deformidades nos frutos e sintomas claros de desequilíbrio nutricional nas plantas, apesar de terem sido feitas calagem e adubação de acordo com a recomendação de uma análise de solo. Isso impossibilitava a comercialização desses frutos para consumo in natura e reduzia a qualidade de produtividade.

Como agrônomo responsável, você percebeu que na área de 50 ha em estudo, a referida análise de solo utilizada para as recomendações de adubação e calcário pode ter sido realizada de forma inadequada, não sendo representativa da área cultivada. Neste caso, a aplicação de algum dos nutrientes essenciais ao desenvolvimento da cultura pode ter sido feita de forma inadequada, o que resultaria em deficiência ou em toxidez. O erro pode ser originário de um processo de amostragem inadequado, da análise laboratorial, ou na recomendação de fertilizantes. Desta forma, você decide que o processo de análise de solo deve ser revisto. Sabendo que a participação do agrônomo em todas as etapas deste processo é fundamental, você deverá participar de todo o processo e se questiona sobre alguns pontos relevantes que ajudarão na sua tomada de decisão.

Afinal, quais medidas você poderá adotar na área? Quantas amostras compostas serão necessárias para que possamos realizar uma amostragem significativa? Com base nos conceitos de amostragem de solo, previamente estudados, seremos capazes de planejar uma boa amostragem de solo e preparar as melhores amostras a serem enviadas ao laboratório de análise de solo.

Nessa seção, temos como objetivos principais: a compreensão da importância da análise de solo para um planejamento de adubação de uma determinada cultura e o entendimento do papel fundamental que essa ferramenta exerce na avaliação da nutrição mineral de uma cultura agrícola. Estudaremos como são realizadas as análises laboratoriais de solo, quais os principais métodos e como interpretar de forma correta uma análise de solo.

Não pode faltar

Na seção anterior, descobrimos que é na amostragem de solo que pode ocorrer a maior quantidade de erros, prejudicando a representatividade de uma análise de solo. Isso ocorre porque a amostragem é uma das quatro principais etapas de uma análise de solo, que ainda envolve: a análise em laboratório, a interpretação dos resultados e a recomendação das práticas de manejo, calcário e fertilizantes. Para uma correta recomendação, o técnico tem um importante papel em todas as etapas, principalmente na amostragem, na interpretação e na recomendação.

A análise de solo é o principal instrumento para determinação do estado nutricional de uma cultura. Esta ferramenta permite a determinação da fertilidade do solo, que é a capacidade que um solo tem de fornecer nutrientes para as plantas. Essa capacidade está ligada ao desenvolvimento e crescimento das plantas. Isso quer dizer que a disponibilidade de nutrientes em um meio de cultivo deve ser suficiente para atender às necessidades nutricionais de uma planta durante o seu ciclo de vida.

Desta forma, a análise de solo tem, basicamente, duas funções: indicar o teor de nutrientes no solo, proporcionando a elaboração de um programa de adubação e calagem, e monitorar o sistema de produção, avaliando a alteração dos nutrientes no solo para averiguar se a aplicação de nutrientes está adequada. Utilizando-se da análise de solo é possível determinar as melhores doses de fertilizantes e calcário para que seja obtida a Produtividade Máxima Econômica (PME).

Após a amostragem e identificação das amostras, o solo coletado deve ser enviado para um laboratório de análise de solo. De acordo com Lopes (1998), cada análise de solo deve ter como objetivos: alto padrão analítico; tempo razoável para entrega dos resultados; potencial de recomendação de calcário e de fertilizantes para o máximo potencial de lucro para o produtor; e, ainda, respostas aos problemas ligados à fertilidade do solo que podem estar limitando as produções.



Refleta

Além de quantificar a disponibilidade de nutrientes, a análise para avaliação da fertilidade do solo pode ter importância ainda maior ultrapassando os limites da produção agrícola. Esta ferramenta é fundamental para o futuro da produção agrícola mundial tanto para a identificação de áreas novas que tenham potencial para serem incorporadas aos sistemas produtivos quanto para o aumento de produtividade, sustentabilidade e conservação de áreas produtivas. Pensando nisso, como a ampla utilização da análise de solo pode auxiliar na redução na devastação de áreas de florestas no Brasil?

Antes de conhecermos a análise laboratorial do solo, é preciso que saibamos algumas das características dos diferentes tipos de solo. Sabe-se que na fase sólida do solo existem pequenas partículas minerais, orgânicas ou organominerais, na qual ocorrem diversas reações químicas e biológicas. Essas partículas podem ser divididas de acordo com a classificação apresentada na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 | Classificação de partículas sólidas de solo por tamanho

Frações	Dimensões (mm)
Calhaus	20 a 2
Areia grossa	2 a 0,2
Areia fina	0,2 a 0,02
Silte	0,02 a 0,002
Argila	< 0,002 ou < 2 micra

Fonte: adaptada de Furtini Neto et al. (2001, [s.p.]).

Essas pequenas partículas são também conhecidas como coloides. Os coloides minerais de argila e orgânicos apresentam carga negativa ou positiva, podendo atrair e reter partículas com cargas opostas e repelindo cargas iguais. Os elementos com carga negativa são chamados de ânions, e com cargas positivas, de cátions.

Conforme estudado brevemente na Unidade 2, esta capacidade de atrair e repelir cargas faz com que as partículas do solo realizem trocas com outros cátions e ânions presentes em solução, é a chamada adsorção iônica. O número total de cátions trocáveis que um solo pode reter é chamado de sua capacidade de troca de cátions (CTC). Quanto maior o valor da CTC do solo, maior o número de cátions que ele pode reter. O aumento da CTC está diretamente ligado ao aumento no teor de matéria orgânica e ao baixo grau de intemperismo de um solo.

Solos mais argilosos têm maior CTC que solos arenosos. Desta maneira, solos argilosos tendem a reter cátions, apresentando menor lixiviação. Já os arenosos conseguem reter poucos cátions, pois têm menor CTC e maiores taxas de lixiviação. Isso afeta, diretamente, a eficiência da adubação, principalmente nitrogenada e potássica, exigindo diferentes épocas e doses de aplicação.

Já a CTC efetiva do solo (t) é a capacidade do solo em reter cátions no pH em que se encontra. Em qualquer valor de pH, muitas cargas do solo estarão ocupadas pelo íon H^+ , não havendo troca por outro cátion. Conhecer o valor de t é importante para saber a possibilidade de perdas de cátions por lixiviação, o potencial de salinidade e o parcelamento da adubação.

Outras características a serem observadas em um solo é a soma de bases (SB) trocáveis no solo (cálcio + magnésio + potássio) e o potencial fitotóxico do alumínio (m), que é a parte da CTC efetiva ocupada por alumínio trocável, dois dos parâmetros mais importantes avaliados.



Assimile

A capacidade de troca de cátions (CTC) diz respeito à quantidade total de cátions que um solo pode reter. A CTC (t) efetiva do solo se refere à CTC no mesmo pH em que o solo encontra-se.

Apesar de termos discutido os conceitos anteriores sem considerar alterações de pH, sabemos que em solos cultivados essas mudanças serão comuns. Desta forma, os próximos conceitos dizem respeito a condições de pH 7,0 (neutro).



Lembre-se

Mas, afinal, o que é o pH? Este termo é o que determina se uma substância é ácida ou alcalina e tem uma escala que vai de 0 a 14. Uma substância ácida deve ter valores abaixo de 7,0 e uma alcalina, superiores a 7,0. Na maior parte dos solos, o pH encontra-se entre 4,0 e 9,0.

Quando nos referirmos à capacidade do solo em reter cátions em pH 7,0, a sigla utilizada será o T, conhecida como CTC potencial. Isso representa o valor ocupado na CTC de um solo quando a calagem fosse feita até que se atingisse o pH 7,0. A elevação do pH de um solo ácido gera neutralização de cátions H^+ . O ganho em CTC pela neutralização de H^+ adsorvido será tanto maior quanto mais baixo for o pH natural do solo e quanto maior for o teor de matéria orgânica e de óxidos de ferro e de alumínio do solo.

Uma das informações fundamentais em uma análise é a saturação percentual da CTC ocupada por bases existentes no solo a pH 7,0, cuja sigla é V. Mesmo que ocorra o aumento do pH do solo para 7,0, se não ocorrer o aumento do teor de Ca, Mg e K, a percentagem de saturação de bases do solo será reduzida. Neste caso, a CTC efetiva (t) passará a ser a CTC potencial (T). Desta maneira, se nosso objetivo for elevar a fertilidade do solo, o aumento do pH deve ser feito com corretivos que contenham bases (Ca, Mg e K), de forma a elevar também a saturação. Por este motivo o calcário é utilizado, pois, além de elevar o pH do solo, são adicionados Ca e Mg. Desta maneira, a percentagem de saturação de bases (V) pode ser utilizada para recomendação de calagem.

Pode-se calcular a fração T ocupada por cada base, além dos teores absolutos, seguindo as equações:

$$\% Ca = (Ca^{+2} / T) \times 100$$

$$\% Mg = (Mg^{+2} / T) \times 100$$

$$\% K = (K^{+} / T) \times 100$$

Generalizando para uma condição ideal de suprimento das bases, a percentagem de saturação de Ca, Mg e K em T deve ser de 60% a 70%; 10% a 20%; e 2% a 5%, respectivamente (FURTINI NETO et al., 2001).

As características de acidez e CTC de solo estão intimamente relacionadas. É de grande importância conhecer a acidez de um solo, pois ela interfere nas suas propriedades físicas e químicas. Em termos de acidez, um solo pode ser ácido, básico ou neutro. No Brasil e em regiões tropicais, de forma geral, existe a predominância de solos ácidos.

Esta acidificação de solo ocorre devido à substituição de bases trocáveis por íons do tipo H^+ ou Al^{+3} . Isso pode ocorrer por diversos fatores, com destaque para a absorção de cátions básicos pelos vegetais, pela percolação de água no solo e, até mesmo, pelo uso de fertilizantes ácidos.

A maneira usualmente conhecida de se verificar uma reação ácida ou alcalina de uma solução é por meio de seu pH. A reação do solo é o fator que, em geral, mais afeta a disponibilidade dos nutrientes às plantas. Sabe-se que a maior disponibilidade ocorre na faixa de pH entre 6 e 7. Sob acidez ou alcalinidade excessiva, entre outros problemas para as plantas, tem-se uma baixa disponibilidade de nutrientes. Portanto, antes da adubação e, na verdade, antes do preparo do solo, deve-se procurar conhecer as suas condições de acidez (FURTINI NETO et al., 2001).

No Brasil, a maior parte dos solos necessita de correção de acidez, sendo a prática da calagem (aplicação de calcário) fundamental para que a agricultura

seja sustentável e produtiva. A calagem cria maior disponibilidade de nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, enxofre, molibdênio e cloro, além do cálcio que, apesar de se tornar menos disponível com o aumento do pH, tem sua concentração aumentada pela composição do calcário. Conhecendo essa característica, podemos aumentar a eficiência do uso de fertilizantes, tanto no fornecimento de macro quanto de micronutrientes.

A acidez de solo pode, ainda, trazer outros problemas entre os quais podemos destacar a toxidez por elementos químicos. Os teores de alumínio, ferro e manganês podem ser tóxicos em solos ácidos porque estes elementos têm a solubilidade aumentada em solos ácidos. A toxidez de alumínio, em especial, é de grande importância e bastante limitante ao cultivo.

Conclui-se, então, que a forma mais racional de se corrigir a acidez de um solo, principalmente em camadas superficiais, é a utilização da calagem. A aplicação de calcário serve tanto para a corrigir a acidez de um solo, diminuindo a toxidez de alumínio, quanto para corrigir deficiências de cálcio e magnésio.

Na seção anterior estudamos a amostragem de solo e, agora, conhecemos um pouco das características e propriedades do solo que podem influenciar na sua fertilidade. As amostras, em laboratório, devem ser analisadas seguindo alguns requisitos. A análise de fertilidade do solo, de uma forma geral, inclui determinações de pH, Al, H + Al, Ca, P, S, K, Mg, Zn, Mn, Fe, Cu, B, teor de matéria orgânica e textura. A determinação do teor de nitrogênio ainda é pouco utilizada no Brasil, sendo o teor de matéria orgânica uma maneira de estimar a capacidade do solo de suprir nitrogênio para as plantas.

A determinação da textura (percentagem de areia, silte e argila) é de grande importância na avaliação da fertilidade do solo e, por consequência, no manejo da fertilidade do solo. É importante lembrar que essa é uma característica do solo que não se altera, sendo dispensável as análises físicas subsequentes.

No laboratório, após a amostra ter sido recebida, ela deve ser colocada para secar ao ar e peneirada em malha de dois milímetros. Após a análise de solo os resultados são expressos em volume de solo. Uma representação bastante comum das unidades de medida utilizadas é apresentada na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 | Unidades de representação de unidades para resultados de análise de solo

pH	M.O.	P-rem	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	V
H_2O	$dagkg^{-1}$	mgL^{-1}	---	$mgdm^{-3}$	---	-----	$cmol_{dm}^{-3}$	-----	-----	%
m	t	T	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Silte	Areia
%	---	$cmol_{dm}^{-3}$	---	-----	$mgdm^{-3}$	-----	-----	-----	gKg^{-1}	-----

Fonte: elaborada pelo autor.

As equações utilizadas para a apresentação dos resultados são feitas da seguinte forma:

- $t = SB + AI^{+3}$, para o cálculo da CTC efetiva;
- $m = 100 \times AI^{+3} I t$, para o cálculo do potencial fitotóxico do alumínio;
- $T = SB + (H + AI)$, para o cálculo da CTC potencial;
- $V = 100 \times SB I T$, para o cálculo da porcentagem de saturação por bases.

No Brasil existem diferentes procedimentos analíticos laboratoriais, um exemplo é a metodologia utilizada para a determinação do pH que é, normalmente, medida pelo pH em água, mas que pode ser feita medindo-se a acidez ativa em solução salina. Outra variação de método analítico diz respeito à determinação do fósforo disponível. A maior parte dos laboratórios utiliza o método Mehlich ou Carolina do Norte, que leva em conta a textura do solo. No estado de São Paulo, a concentração de fósforo disponível é realizada pelo método da resina trocadora de ânions. Os dois métodos apresentam resultados diferentes e necessitam de interpretações diferentes.

A interpretação de resultados de análise de solo deve seguir tabelas elaboradas para cada estado. De modo geral, as recomendações seguem uma relação de produção relativa de: 0% a 70%; 71% a 90%; 91 a 100%; superior a 100%, respectivamente, para os níveis muito baixo, baixo, médio e alto ou muito alto. As características dos solos e as espécies vegetais são bastante variadas. Desta forma, antes de qualquer recomendação de adubação, deve-se ter em mãos os resultados da análise de solo, informações da utilização da área, classe de solo, históricos de calagem, aplicação de fertilizantes, culturas anteriores e produtividades. As recomendações de calcário e adubação devem ser feitas com base na análise de solo.



Exemplificando

Em uma lavoura de abacaxi, foi realizada a amostragem de solo e posteriormente a análise laboratorial das amostras coletadas. Nos resultados apresentados pelo laboratório não foi incluída a CTC efetiva do solo (t). É possível calcular esses parâmetros, sabendo que $SB = 0,29$ e $AI^{+3} = 40$, as duas em $cmolc / dm^3$?

Sim, é muito simples a realização do cálculo de t , basta utilizarmos a equação a seguir: $t = SB + AI^{+3}$. Neste caso, $t = 0,29 + 40$. Sendo: $t = 40,29$.

Na situação-problema proposta, havia uma área plantada com laranjas, onde foram observadas deformidades nos frutos e sintomas claros de desequilíbrio nutricional nas plantas, apesar de terem sido feitas calagem e adubação de acordo com a recomendação de uma análise de solo. Este fato impossibilitou a comercialização dos frutos produzidos para consumo in natura e reduziu a qualidade e a produtividade da lavoura.

Foi cogitado que a referida análise de solo da área, que foi utilizada para as recomendações de adubação e calcário, poderia ter sido realizada de forma inadequada, não sendo representativa da área cultivada. Se isso, realmente, tiver ocorrido, a aplicação de algum dos nutrientes essenciais ao desenvolvimento da cultura pode ter sido feita em doses erradas, criando deficiência ou toxidez.

Para resolução desta problemática, primeiramente deve ser realizada a análise de solo que é composta de quatro principais etapas: a amostragem, a análise em laboratório, a interpretação dos resultados e a recomendação das práticas de manejo. O engenheiro agrônomo tem um importante papel em todas as etapas, principalmente na amostragem, na interpretação e na recomendação da análise do solo da área de estudo de 50 ha. Por não ter participado de nenhuma das etapas, não há segurança para se definir em qual delas ocorreu algum erro. Além disso, esse erro pode ter sido causado em mais de uma etapa.

Desta forma, uma nova amostragem da área deve ser realizada, na qual devem ser elaboradas, no mínimo, cinco amostras compostas, considerando o tamanho da área. É importante que o terreno seja dividido em glebas de acordo com a topografia local. Assim, haverá segurança de que as amostras de solo sejam significativas para a área estudada. Essas amostras deverão ser enviadas a um laboratório de confiança para que sejam sugeridas alterações no plano de calagem e adubação da área.

Sabe-se que a análise de solo é o principal instrumento para determinação do estado nutricional de uma cultura. Em associação aos sintomas visuais observados em campo, é possível a utilização desta ferramenta para a determinação da fertilidade do solo. No caso de uma cultura de longo ciclo produtivo como a laranja, a elaboração de um plano de adubação torna-se ainda mais importante. É preciso definir como essa área será tratada, quais as técnicas de manejo serão adotadas e qual a causa do problema para que isso não ocorra novamente. É sempre importante lembrar que o histórico da área também deve ser levantado, quanto à existência de culturas anteriores e toda a aplicação de fertilizantes e calcário que foi feita nos últimos anos.



Atenção

É importante que saibamos que a análise de solo é um processo bastante criterioso que envolve a amostragem, a análise laboratorial, a interpretação dos resultados e a recomendação de adubação e calagem. Nenhuma destas etapas pode ser menosprezada, pois erros causados em alguma delas criarão resultados incompatíveis com a realidade. Caso a real fertilidade do solo não seja retratada, a cultura implantada na área receberá quantidades insuficientes ou intoxicantes de nutrientes, o que gerará perdas produtivas, danos ambientais e queda do rendimento econômico.

Avançando na prática

Área experimental de soja que não produz adequadamente

Descrição da situação-problema

Você, como engenheiro agrônomo, foi contratado para analisar uma área de dez hectares cultivada com soja que não está produzindo satisfatoriamente e que apresenta sinais visuais de desequilíbrio nutricional na lavoura. A área de cultivo é plana e nos dois anos anteriores foi utilizada como pastagem. Foram realizadas adubação e calagem com base em uma análise de solo que foi feita por ocasião da implantação da lavoura, com o objetivo de se descobrir o que havia de nutrientes disponíveis no solo e em quais quantidades.

Ao observar os resultados da análise de solo realizada foi possível perceber que o valor da CTC potencial (T) era de 2,61, de cálcio era de 0,10, de potássio era de 0,09 e de magnésio era 0,1, todos em $cmolc / dm^3$. Estes são dados importantes, mas cabe ao agrônomo interpretar o que eles realmente significam para um solo. Quais as frações da CTC potencial ocupadas por cada base? Estes valores estavam em uma porcentagem adequada? No que interfere essa porcentagem? Quais seriam os valores ideais?



Lembre-se

A capacidade do solo em reter cátions em pH 7,0 (T) é conhecida como CTC potencial. Isso representa o valor ocupado na CTC de um solo, caso a calagem fosse feita para que o solo atingisse o pH 7,0. Isso quer dizer que parte da CTC do solo seria preenchida com as bases Ca, K e Mg. Sabe-se que para o cálculo de T pode-se utilizar a equação a seguir: $T = SB + (H + Al)$. Para o cálculo da porcentagem de participação de cada uma das bases citadas

podemos utilizar as equações seguintes:

$$\% Ca = (Ca^{+2} / T) \times 100;$$

$$\% Mg = (Mg^{+2} / T) \times 100;$$

$$\% K = (K^{+} / T) \times 100.$$

Resolução da situação-problema

Com base nas equações propostas anteriormente e nos valores informados, podemos encontrar a participação de cada uma das bases na CTC potencial do solo T.

- $\% Ca = (Ca^{+2} / T) \times 100 \rightarrow \% Ca = (0,1 / 2,61) \times 100 \rightarrow \% Ca = 3,83\%;$
- $\% Mg = (Mg^{+2} / T) \times 100 \rightarrow \% Mg = (0,1 / 2,61) \times 100 \rightarrow \% Mg = 3,83\%;$
- $\% K = (K^{+} / T) \times 100 \rightarrow \% K = (0,09 / 2,61) \times 100 \rightarrow \% K = 3,44\%.$

Devemos sempre lembrar que a percentagem de saturação de Ca, Mg e K ideal em T deve ser de 60% a 70%; 10% a 20% e 2% a 5%, respectivamente. Podemos, então, perceber que, mesmo que não sejam consideradas as necessidades nutricionais da cultura implantada, os teores de Ca e Mg encontram-se muito abaixo do recomendado e que a proporção de Ca:Mg é de 1:1, longe do ideal. Sabemos, também, que estes nutrientes são fornecidos por meio da calagem. Desta maneira, deve-se buscar um corretivo que forneça Ca e Mg, alterando essa proporção para, no mínimo, 3:1 (60% de Ca e 20% de Mg).

É possível que tenha ocorrido uma falha na recomendação da calagem, o que causou este desequilíbrio. Não podemos esquecer que também é fundamental fornecermos todos os nutrientes em quantidades adequadas à cultura, no caso a soja, para que ela atinja Produtividade Máxima Econômica (PME).



Faça você mesmo

Imagine, agora, que você foi contratado para realizar um estudo da fertilidade do solo de uma área de uma fazenda. A primeira parte a ser estudada compreende 500 ha para a produção de culturas anuais. Relate quais as etapas da análise de solo devem ser realizadas e quais as características de solo mais importantes a serem avaliadas nos resultados laboratoriais obtidos.

1. Em uma área de cultivo no sistema de plantio direto (SPD) são realizados cultivos subsequentes de soja, milho, feijão e trigo. Por meio da avaliação do manejo de fertilidade da área, constatou-se que o uso constante do solo gerou necessidade de repor a concentração de alguns nutrientes. Entre estes nutrientes, destacava-se o cálcio (Ca). Foi escolhido, para essa operação, um calcário que apresentava as seguintes especificações: $CaO = 40\%$; $MgO = 8\%$, em que a aplicação de uma tonelada deste corretivo contribui com $0,71Ca^{+2} \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Sabendo que são necessários $2,45Ca^{+2} \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ por hectare para que a demanda seja cumprida, quantas toneladas de calcário serão necessárias?

- a) 4,65 toneladas.
- b) 1,20 tonelada.
- c) 3,45 toneladas.
- d) 6,25 toneladas.
- e) 8,45 toneladas.

2. O solo é formado por diferentes fases, que incluem a líquida, gasosa e sólida. A fase sólida contempla matéria orgânica e minerais. Os minerais podem apresentar diferentes tamanhos de partículas, de acordo com o material de origem e os processos de formação. A proporção entre esses materiais pode ser avaliada pela análise física do solo e é conhecida com textura do solo.

Entre os diferentes tamanhos de partículas componentes do solo, assinale a alternativa que apresenta o menor tamanho de partículas.

- a) Calhaus.
- b) Areia fina.
- c) Areia grossa.
- d) Argila.
- e) Areia.

3. O solo é constituído de minerais e matéria orgânica que possuem cargas, positivas e negativas. Há, geralmente, predomínio das cargas negativas que atraem íons com carga positiva. Alguns exemplos destes íons são: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ , Al^{3+} . Entretanto, a presença dessas cargas não é estática, havendo a possibilidade de serem retidas ou trocadas no solo. De acordo com essa capacidade do solo em reter e trocar cargas em sua estrutura, o número total de cátions trocáveis que um solo pode reter é chamado de:

- a) Soma de bases.
- b) Capacidade de troca de cátions.
- c) Supressão de cátions.
- d) Capacidade de absorção de cátions.
- e) Capacidade de troca catalisada.

Adubação e calagem

Diálogo aberto

Em nossos estudos preliminares, conhecemos diferentes métodos para elaboração de um diagnóstico do estado nutricional adequado e para o planejamento da adubação de uma cultura agrícola. Destacam-se entre estes métodos a diagnose visual e a foliar. Descobrimos, também, que a análise de solo é uma prática fundamental para avaliar a fertilidade de um solo. Essa prática é formada por quatro principais etapas: amostragem, análise laboratorial, interpretação dos resultados e recomendação das práticas de manejo, calcário e fertilizantes. A participação de um profissional com formação técnica, principalmente o engenheiro agrônomo, é de grande importância em todas essas etapas, sobretudo na amostragem, na interpretação e na recomendação.

A interpretação dos resultados da análise laboratorial está diretamente relacionada à recomendação de calagem e fertilizantes. Interpretar esses resultados é o primeiro passo para identificar carências e toxidez por nutrientes, permitindo a correta recomendação de calcário e as melhores doses de cada fertilizante, de acordo com as necessidades nutricionais da cultura e a expectativa produtiva. Por meio dessa atividade, busca-se a produtividade máxima econômica (PME) em associação ao manejo adequado do solo e à sustentabilidade ambiental e do sistema produtivo.

Foi sugerida a situação em que foram observadas deformidades nos frutos de uma determinada lavoura de laranjas e, ainda, sintomas de desequilíbrio nutricional nas folhas das plantas. Isso impossibilitava a comercialização desses frutos para consumo, reduzia a qualidade do produto e a produtividade da lavoura. Suponha que tenha sido feita uma amostragem de solo correta da área em profundidade de 0 a 20 centímetros, que a análise de solo tenha sido feita em um laboratório confiável e a recomendação de calagem e adubação pelo próprio proprietário. Para a calagem ele buscou elevar a porcentagem de saturação por bases inicial de 50% para 70%.

Para compreender a fertilidade do solo, você solicitou uma nova análise de solo, apresentada na Tabela 3.4. Mas, afinal, por que ocorreu esta elevação de pH? Se não havia baixa concentração de nenhum nutriente no solo, por que as plantas não se desenvolviam corretamente? Com base nesta análise de solo, você deverá realizar um laudo sobre a fertilidade da área e necessidade de alterações no planejamento de adubação dessa área. Você

deve explicar o que ocorreu na área e sugerir uma solução. Ao final da seção você será capaz de conhecer as informações presentes em uma análise de solo e realizar recomendações de corretivos e fertilizantes.

Tabela 3.4 | Análise química e física de solo cultivado com laranjas

M.O.	pH	P _{Mehlich-1}	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	V	
dag kg ⁻¹	H ₂ O	- mg dm ⁻³ -		----- cmol _c dm ⁻³ -----						%
2,05	8,0	3,0	98,4	5,24	2,45	0,08	0,32	7,94	96,12	
T	T	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Silte	Areia	
---- cmol _c dm ⁻³ ----		----- mg dm ⁻³ -----			----- % -----					
8,02	8,26	0,11	1,4	45,2	9,9	2,4	22,3	10,2	67,5	

Fonte: elaborada pelo autor.

Não pode faltar

A calagem consiste na incorporação de corretivos no solo para neutralizar a acidez e elevar o potencial hidrogeniônico (pH) do solo, favorecendo a atividade microbiana, a CTC do solo, disponibilizando nitrogênio, enxofre, fósforo, boro e molibdênio, cálcio e magnésio e aumentando a eficiência dos fertilizantes. A redução da acidez, sobretudo em solos de regiões tropicais, diminui a disponibilidade de alumínio, ferro e manganês, tóxicos às plantas em altas concentrações.

Diversos produtos, que atendem às necessidades apresentadas anteriormente, podem ser utilizados na calagem. O mais utilizado é o calcário agrícola, produzido por meio da moagem de rochas calcárias, contendo como componentes carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e carbonato de magnésio ($MgCO_3$). Estes carbonatos reagem com a água do solo formando íons OH^- que retêm H^+ aumentando o pH do solo. Os calcários podem ser classificados de acordo com a quantidade de $MgCO_3$ presente no material em calcíticos (menos de 5% de $MgCO_3$); magnesianos (5% a 12% de $MgCO_3$); e dolomíticos (mais de 12% de $MgCO_3$).

Além da composição do calcário, a dose, a forma, a época e o custo de aplicação devem ser levados em consideração na escolha do corretivo. A necessidade de uso de calcário com teores elevados de Mg varia de região para região. Entretanto, normalmente, solos arenosos têm maior tendência a apresentarem deficiência deste nutriente. Nestes casos, recomenda-se o uso de calcário dolomítico. De acordo com Furtini Neto et al. (2001), a cada 1% de MgO presentes na composição de calcário, a aplicação de 1t/ha vai representar 0,0248 $cmolc Mg^{+2} / dm^3$ solo. Isso permite saber quanto será aplicado de Mg no solo com a prática da calagem.

Outros corretivos de pH que podem ser utilizados no solo são: a cal virgem agrícola, obtida por meio da queima do calcário, que contém óxido de magnésio (MgO) e óxido de cálcio (CaO); a cal hidratada agrícola, obtida pela hidratação da cal virgem e que contém hidróxido de cálcio [$Ca(OH)_2$] e de magnésio [$Mg(OH)_2$]; e a escória de siderurgia, subproduto da indústria de ferro e aço, contendo silicatos de cálcio ($CaSiO_3$) e magnésio ($MgSiO_3$).

Dois fatores influenciam na quantidade de calcário a ser adicionado no solo. O primeiro é o poder de neutralização (PN) de um corretivo, a quantidade de ácido que ele é capaz de neutralizar. O PN $CaCO_3$ é tomado como padrão (100%), sendo outros materiais comparados com ele. A granulometria do material interfere em sua eficiência, determinando o tempo necessário para a reatividade no solo (ER). Partículas maiores (até 2 mm) reagem mais devagar e em menor quantidade que partículas finas (menores que 0,3 mm). O ER é calculado em porcentagem.

Tanto PN quanto ER podem ser usadas para caracterizar um corretivo e servem para a escolha do corretivo, influenciando no poder de neutralização total de um corretivo (PRNT), que pode ser calculado pela fórmula assim sendo, é dado pela fórmula: $PRNT (\%) = (PN \times ER) / 100$. Desta maneira, um determinado calcário cujo $PN = 80\%$ e $ER = 70\%$ terá $PRNT = 56\%$. Para se calcular a calagem o PRNT do calcário a ser utilizado é importante, pois o método considera o PRNT como sendo de 100%.

O calcário apresenta baixo custo e é bastante abundante no Brasil, sendo necessário o uso de máquinas para a aplicação e incorporação, e durando de um a quatro anos. Ele deve ser incorporado em profundidades que variam de 15 a 20 centímetros, permitindo interação com o solo da camada arável. Entretanto, mesmo após a incorporação no solo, o calcário afetará pouco o pH se não houver umidade para a reação.

A calagem deve ser realizada de forma muito criteriosa, definida com base na análise de solo, não devendo fornecer quantidade de calcário superior à necessária para atender a demanda do solo. A supercalagem é prejudicial e de difícil correção, causando indisponibilidade de fósforo, zinco, ferro, cobre, manganês.



Refleta

A calagem é uma ferramenta de manejo fundamental para o desenvolvimento da fertilidade de solos ácidos. A simples aplicação de calcário faz com que seja corrigido o pH e aumenta-se a concentração de Ca e Mg. No Brasil existem diversas áreas degradadas, com produtividades de pastagem e agricultura baixas. Por que, então, continuam-se devastando novas áreas de floresta em vez de se recuperar a fertilidade das áreas pouco produtivas?

Para a recomendação de calcário são utilizados três métodos, considerando a camada de referência de 0 a 20 centímetros e PRNT de 100%. O primeiro é o SMP, que tem como base a elevação do pH do solo para um valor desejado, a partir da mistura do solo com uma solução tampão com pH inicial de 7,5. Em laboratório é feita a mistura do solo com a solução para determinar o pH, que é o índice SMP. O valor desse índice é inversamente proporcional à acidez do solo.

O segundo método tem como base os teores de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis. Com base neste método, a fórmula recomendada para o estado de Minas Gerais (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999):

$$NC (t \text{ ha}^{-1}) = Y [Al^{3+} - (mt \cdot t/100)] + [X - (Ca^{2+} + Mg^{2+})]$$

Em que:

Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} = valores da análise de solo;

mt = saturação de alumínio que a cultura tolera;

t = valor de CTC efetiva na análise do solo;

Y = poder tampão do solo em função da textura (arenosos = 0,0-1,0; textura média = 1,0-2,0; argilosos = 2,0-4,0);

X = fator referente à cultura, quanto à necessidade de Ca e Mg (1,0 a 3,5).

O terceiro método leva em conta a elevação da saturação por bases (V) de acordo com a necessidade de cada cultura, já que o pH do solo está diretamente relacionado à saturação por bases. A seguinte fórmula foi proposta por Raij (1981):

$$NC (t \text{ ha}^{-1}) = [T \cdot (V2 - V1)] / 100$$

Em que:

T = CTC a pH 7,0;

V2 = saturação por bases final;

V1 = saturação por bases inicial.

Outro insumo muito utilizado na agricultura é o gesso agrícola, que apesar de ter características salinas, fornece enxofre, corrige o alto teor de alumínio e o baixo teor de Ca abaixo da superfície do solo e corrige solos sódicos. Para o fornecimento de Ca deve-se considerar a capacidade de resposta da cultura ao fornecimento e o tipo de solo.

O gesso deve ser aplicado se a camada abaixo da superfície (20-40 centímetros ou 30-60 centímetros) quando o solo apresentar menos que 0,3 de Ca e/ou mais que 0,5 $cmolc / dm^3$ de Al ou mais que 30% de saturação de Al. Deve ser aplicado, na implantação de lavouras ou em culturas perenes já instaladas, uniformemente a lanço, sem a necessidade de incorporação, podendo essa atividade ser feita para reduzir perdas por escoamento superficial e acelerar a descida do gesso.



Assimile

Fique atento, o gesso é um sal e, apesar de corrigir o alto teor de Al no solo, não tem a função de elevar o pH de um solo. Já o calcário é alcalino e capaz de elevar o pH do solo, diminuindo a acidez. Na composição do calcário são encontrados Ca e Mg associados ao carbonato que é o responsável por corrigir a acidez.

Após a aplicação de corretivos, é fundamental que se forneçam nutrientes em quantidades adequadas para as culturas. Isso deve ser feito por meio de fertilizantes. Os fertilizantes minerais são os que contêm compostos químicos inorgânicos, podendo ser divididos em fertilizantes simples, que são formados por um composto químico, e fertilizantes mistos, formados por dois ou mais fertilizantes simples. Os fertilizantes orgânicos são constituídos de resíduos animais, vegetais, agroindustriais ou urbanos.

Os fertilizantes podem ter constituições sólidas, líquidas e gasosas (amônia anidra). Fertilizantes sólidos são os mais utilizados e permitem a associação de mais de dois nutrientes. Desta maneira, é possível utilizar fertilizantes mais completos, possibilitando menos adubações e misturas em campo. Os fertilizantes sólidos podem ser produzidos na forma de pó, farelado ou grânulos. No caso de grânulos, o esfrelamento no transporte, armazenamento e aplicação provocam a desuniformidade das partículas, que gera a segregação, além de aumentar a higroscopicidade para partículas em tamanho mais reduzido.

Entre as vantagens do uso de fertilizantes líquidos destacam-se o baixo custo de produção, facilidade de utilização, aplicação foliar, adaptação à fertirrigação e maior homogeneidade na aplicação. Para ambas as formas, as concentrações de N, P e K devem ser apresentadas em percentagem de N, P_2O_5 e de K_2O , assim como S e micronutrientes, estes na forma elementar. Para os teores de Ca e Mg, expressa-se a percentagem de CaO e MgO.

A solubilidade em água influencia na absorção dos nutrientes, sendo muito relevante em adubação foliar e fertirrigação em que a solução deve ser homogênea. Fertilizantes de baixa solubilidade como superfosfato simples são

inadequados para a fertirrigação. Outro fator que deve ser levado em consideração na escolha do fertilizante é o índice salino, que gera o deslocamento da água das células vegetais para a solução do solo, podendo causar perda de sementes e plantas, principalmente na fase inicial de crescimento. Como exemplo podemos citar o cloreto de potássio.

Os fertilizantes nitrogenados são os requeridos em maiores quantidades pela agricultura. Entre estes destaca-se o sulfato de amônio, subproduto da indústria metalúrgica, que tem baixa higroscopicidade, estabilidade química e S em sua fórmula. Entretanto, apresenta capacidade de acidificação dos solos e baixa concentração de N (20%). Outro fertilizante muito usado é o nitrato de amônio com, aproximadamente, 33% de N, nas formas nítrica e amoniacal. É um excelente fertilizante nitrogenado, mas tem alta higroscopicidade, alto índice salino e instabilidade química. Para minimizar estes problemas pode ser misturado a outros compostos, como rocha calcária.

A ureia é um composto orgânico sintetizado a partir de substâncias inorgânicas, com alto teor de N (45%), reduzido preço efetivo, grande solubilidade e baixo poder de corrosão, sendo o fertilizante nitrogenado mais comercializado no Brasil. Apesar de ter características de um fertilizante mineral, é um composto orgânico, e sua hidrólise é mediada pela enzima urease, que pode causar grandes perdas de N por volatilização, quando aplicada em superfície. Recomenda-se a incorporação em solo seco, seguida de chuva ou a utilização da irrigação para lixiviação leve.

Os fertilizantes mistos contêm concentrações variáveis de N, P_2O_5 e K_2O , representados pela sigla NPK e indicações com as porcentagens de cada nutriente. Existem vários formulados no mercado para a adubação de plantio e cobertura com NK. Por exemplo, no caso do fornecimento de 16 kg ha^{-1} de N, 56 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 32 kg ha^{-1} de K_2O (relação 2:7:4), o formulado mais adequado é o 04-14-08, com 400 kg/ha deste fertilizante. Entretanto, nem sempre haverá disponibilidade de fertilizantes com a mesma relação de nutrientes ser atendida.

Como fontes de P para as plantas existem os fosfatos naturais ou rochas fosfatadas, que têm eficiência agrônômica muito baixa, o superfosfato simples, que é uma mistura de fosfato monocalcico com gesso, contendo de 16% a 22% de P_2O_5 solúveis em ácido cítrico a 2%, o superfosfato triplo, que é a rocha fosfatada tratada com ácido sulfúrico, com 44% a 52% de P_2O_5 em ácido cítrico e os termofosfatos, obtidos por tratamento térmico de rochas fosfatada sem misturas com silicatos de magnésio, contendo, aproximadamente, 16% P_2O_5 em ácido cítrico.

Com relação às fontes de K, o cloreto de potássio (KCl) é o mais utilizado. Este fertilizante é extraído de reservas naturais, podendo ser tratados para

alcançar alto grau de pureza, chegando a 60% de K_2O . Entretanto, apresenta alto índice salino e presença do cloreto, sendo prejudicial a algumas culturas. Outro fertilizante bastante utilizado é o sulfato de potássio, que contém, aproximadamente, 50% de K_2O e menor salinidade, apresenta custo mais elevado que KCl.

A aplicação de micronutrientes em solos pode ser definida pela produtividade esperada e exigências culturais. Sobretudo com boro, o limite entre a essencialidade e a toxidez é próximo. A prescrição de micronutrientes pode, também, ser fundamentada, em análises de solo e foliares. Existe uma recomendação de aplicação de doses variáveis baseada na análise foliar: 0,5-1,0 kg de B; 4-6 kg de Zn; 2,5-6,0 kg de Mn; 0,5-2,0 kg de Cu; 50-250 g de Mo e 50 – 250 g de Co ha^{-1} (EMBRAPA, 1996).

Com os resultados de análise de um solo, o engenheiro agrônomo é capaz de recomendar calcário e fertilizantes para as diversas culturas. Entretanto, cada cultura tem exigências nutricionais diferentes. Para atender a essas demandas, as Comissões de Fertilidade do Solo dos estados publicam manuais de recomendações de calagem e adubação. Como exemplos temos “Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação” e “Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.”



Exemplificando

A partir do momento em que o engenheiro agrônomo recebe os resultados de análise de um solo, é possível que sejam recomendadas doses de calcário e fertilizantes, não na quantidade mínima, mas na quantidade necessária para que as culturas exerçam o seu máximo potencial produtivo. Com aplicação dos conceitos básicos discutidos anteriormente, pode ser elaborado um laudo sobre a fertilidade da área em estudo por meio de inferências de observações de valor no conhecimento e manejo da fertilidade do solo. Na Tabela 3.5, a seguir, encontram-se os resultados de análise de solo (camada 0-20 centímetros), que servirão para responder a questionamentos práticos.

Para avaliar a fertilidade do solo cuja análise foi apresentada, deve ser utilizada a proposta de interpretação de resultados de análises de solos emitidos por comissões de fertilidade do solo de cada estado. Nesta avaliação, utilizaram-se as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, conforme Tabela 3.6.

Tabela 3.5 | Análise química e física de solo agrícola

M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	V
dag kg	H ₂ O	- mg dm ⁻³ -			---- cmolc dm ⁻³ ----				%
2,73	4,9	3,0	29,33	0,32	0,35	0,08	2,32	0,74	21,80
t	T	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Silte	Areia
-- cmol _c dm ⁻³ --		---- mg dm ⁻³ ----			---- % ----				
0,82	3,06	0,08	1,7	40,2	11,9	1,8	21,5	17,3	61,2

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 3.6 | Classes de interpretação de fertilidade do solo para a matéria orgânica e para o complexo de troca catiônica (adaptado)

Característica	Unidade ^{1/}	Classificação				
		Muito baixo	Baixo	Médio ^{2/}	Bom	Muito Bom
Carbono orgânico (C.O.) ^{3/}	dag/kg	≤ 0,40	0,41 - 1,16	1,17 - 2,32	2,33 - 4,06	> 4,06
Matéria orgânica (M.O.) ^{3/}	dag/kg	≤ 0,70	0,71 - 2,00	2,01 - 4,00	4,01 - 7,00	> 7,00
Cálcio trocável (Ca ²⁺) ^{4/}	cmol _c /dm ³	≤ 0,40	0,41 - 1,20	1,21 - 2,40	2,41 - 4,00	> 4,00
Magnésio trocável (Mg ²⁺) ^{4/}	cmol _c /dm ³	≤ 0,15	0,16 - 0,45	0,46 - 0,90	0,91 - 1,50	> 1,50
Acidez trocável (Al ³⁺) ^{4/}	cmol _c /dm ³	≤ 0,20	0,21 - 0,50	0,51 - 1,00	1,01 - 2,00 ^{10/}	> 2,00 ^{11/}
Soma de bases (SB) ^{5/}	cmol _c /dm ³	≤ 0,60	0,61 - 1,80	1,81 - 3,60	3,61 - 6,00	> 6,00
Acidez potencial (H + Al) ^{6/}	cmol _c /dm ³	≤ 1,00	1,01 - 2,50	2,51 - 5,00	5,01 - 9,00 ^{11/}	> 9,00 ^{11/}
CTC efetiva (t) ^{7/}	cmol _c /dm ³	≤ 0,80	0,81 - 2,30	2,31 - 4,60	4,61 - 8,00	> 8,00
CTC pH 7 (T) ^{8/}	cmol _c /dm ³	≤ 1,60	1,61 - 4,30	4,31 - 8,60	8,61 - 15,00	> 15,00
Saturação por Al ³⁺ (m) ^{9/}	%	≤ 15,0	15,1 - 30,0	30,1 - 50,0	50,1 - 75,0 ^{11/}	> 75,0 ^{11/}
Saturação por bases (V) ^{10/}	%	≤ 20,0	20,1 - 40,0	40,1 - 60,0	60,1 - 80,0	> 80,0

1/ dag/kg = % (m/m); cmol_c/dm³ = meq/100 cm³. 2/ O limite superior desta classe indica o nível crítico. 3/ Método Walkley & Black; M.O. = 1,724 x C.O. 4/ Método KCl 1 mol/L. 5/ SB = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺. 6/ H + Al, Método Ca(OAc)₂ 0,5 mol/L, pH 7. 7/ t = SB + Al³⁺. 8/ T = SB + (H + Al). 9/ m = 100 Al³⁺/t. 10/ V = 100 SB/T. 11/ A interpretação destas características, nestas classes, deve ser alta e muito alta em lugar de bom e muito bom.

Fonte: Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999, p. 25-29).

Por meio dessa recomendação podemos observar características importantes da fertilidade deste solo:

- O teor de matéria orgânica do solo é médio.
- O pH da área pode ser considerado baixo.
- O teor de Ca está muito baixo.
- O teor de Mg está baixo.
- A Soma de Bases (SB) está baixa.
- CTC efetiva (t) está muito baixa.
- CTC pH 7 (T) está baixa.
- O balanço ideal para Ca (60%-70%), Mg (10%-20%), K (2%-5%) em relação ao T é contrastante ao encontrado em nossa análise de solo: Ca (10,21%), Mg (9,31%) e K (2,25%). A relação Ca/Mg é de,

aproximadamente, 1:1, exigindo a aplicação de calcário rico em Ca. As porcentagens de Mg e K estão quase dentro do ideal, sendo pouco preocupante a adubação corretiva para esses nutrientes.

- Soma de bases (SB); CTC efetiva (t); CTC a pH 7,0 (T); porcentagem de saturação por bases da CTC a pH 7,0 (V%), que nos permitirão saber sobre a disponibilidade de nutrientes, pH do solo, a CTC deste solo e porcentagem de Ca, Mg e K em relação a T.
- Analisando a porcentagem de saturação por bases (V%), pH e CTC potencial do solo é possível indicar se esse solo necessita de calagem e qual a quantidade de calcário deve ser aplicada de acordo com a cultura a ser implantada.

Sem medo de errar

No início dessa unidade de ensino, foi proposta uma situação em que os frutos produzidos em uma determinada lavoura de laranjas na região do Triângulo Mineiro apresentavam deformidades e, ainda, sintomas de desequilíbrio nutricional nas folhas das plantas. Essas deformidades impossibilitavam a comercialização desses frutos para consumo e reduziam a qualidade do produto e a produtividade da lavoura.

A amostragem de solo na camada de 0 a 20 centímetros de profundidade foi feita de forma correta, assim como a análise de solo em laboratório. Desta forma, pode ter ocorrido algum problema durante a recomendação de calagem e fertilizantes. Pela informação fornecida, de que foi constatada a elevação do pH do solo para 9,0 em uma nova análise de solo, é possível que a recomendação de calcário tenha sido inadequada.



Atenção

Um dos métodos utilizados para a recomendação de calcário leva em conta a elevação da saturação por bases (V) de acordo com a necessidade de cada cultura, já que o pH do solo está diretamente relacionado à saturação por bases.

Na recomendação de calagem a expectativa era que houvesse a elevação da porcentagem de saturação por bases (V%) de 50% para 70%. Para esse tipo de recomendação, deve-se utilizar a fórmula: $NC (t\ ha^{-1}) = [T \cdot (V2 - V1) / 100]$.

Pelo valor de pH extremamente elevado, a quantidade de calcário aplicada foi superior à necessária. Como os valores de V1 (50%) e de V2 (70%) eram conhecidos, o erro deve ter ocorrido no cálculo de T, que é realizado pela fórmula: $T = SB + (H + AI)$. Este valor superestimado de T fez com que a necessidade de calagem ($t\ ha^{-1}$) também fosse superestimada.



Atenção

Ao ser realizada a calagem, deve-se ter bastante cuidado na dosagem a ser utilizada e na composição e granulometria do material, observando todas as informações presentes na análise de solo. A quantidade superior ao necessário para atender a demanda do solo não devendo fornecida. A supercalagem é prejudicial e de difícil correção, causando indisponibilidade de diversos nutrientes. O valor de pH em água que é fornecido na análise de solo é um indicador de acidez de um determinado solo, assim como a porcentagem de saturação por bases (V).

Pela análise de solo proposta, como a fazenda se encontrava na região do Triângulo Mineiro, utilizou-se as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999). Neste sentido, podemos perceber que:

- O teor de matéria orgânica do solo é médio.
- O pH da área pode ser considerado muito alto (mais que 7).
- O teor de Ca está muito bom.
- O teor de Mg está muito bom.
- A Soma de Bases (SB) está muito bom.
- CTC efetiva (t) está muito bom.
- CTC pH 7 (T) está muito bom.
- O balanço ideal para Ca (60%-70%), Mg (10%-20%), K (2%-5%) em relação ao T é contrastante ao encontrado em nossa análise de solo: Ca (63,43%), Mg (29,66%) e K (6,75%). As porcentagens de Mg e K estão um pouco elevadas, muito provavelmente pela adubação e calagem que foram anteriormente realizadas de maneira equivocada.
- Analisando a porcentagem de saturação por bases (V%), pH podemos perceber que os valores estão muito superiores aos adequados, o que

sugere que foi aplicado calcário em excesso na calagem anterior.

Com a aplicação elevada de calcário, ocorreu um caso de supercalagem. Desta forma, na nova análise de solo, percebeu-se que havia a presença no solo de todos os nutrientes necessários para o desenvolvimento da cultura, com excesso de magnésio e cálcio, componentes do calcário. Entretanto, a presença no solo de todos os nutrientes não significa que a planta será capaz de absorvê-los. Em pH 8,0 os macronutrientes cálcio e magnésio tornam-se indisponíveis para a absorção radicular assim como os micronutrientes ferro, zinco, cobre e manganês. O nitrogênio, apesar de não ser usualmente avaliado na análise de solo, também se torna indisponível nesse valor de pH. Desta maneira, por não serem capazes de absorver estes nutrientes, as plantas da área tendem a apresentar sintomas visuais de deficiência nutricional.

Avançando na prática

Recomendação de adubação em milho

Descrição da situação-problema

Você, engenheiro agrônomo especialista em fertilidade de solo, foi contratado por uma grande empresa produtora de milho, que apresentava baixa produtividade, considerando a área em que se cultivava e o nível tecnológico utilizado. Após a amostragem e análise de solo, foi escolhido um híbrido para plantio que apresentava alto rendimento de grãos e boa adaptabilidade para a região.

Pela análise de solo e expectativa produtiva, foi indicada a aplicação de 30 $Kg\ ha^{-1}$ de nitrogênio no plantio e outras duas adubações de cobertura em que seriam fornecidos mais 140 $Kg\ ha^{-1}$ de N. À sua disposição estavam disponíveis duas fontes de N para serem compradas, o fertilizante ureia (45% de N) e um formulado NPK, 04-14-08. A área a ser adubada era de 200 ha. Calcule a quantidade de sacos de fertilizantes de 50 quilos que deve ser adquirida pela fazenda, de maneira a utilizar os dois tipos de fertilizantes para o fornecimento de nitrogênio, aplicado, simultaneamente, metade da dose de K em plantio (80 $Kg\ ha^{-1}$).



Lembre-se

Os fertilizantes mistos são formulados que contêm concentrações variáveis de N, P_2O_5 e K_2O em suas fórmulas. Esta composição é representada pelas siglas N, P e K, seguidas de números que indicam as concentrações em porcentagem de cada um desses compostos. Para se transformar a concentração de K em K_2O é só multiplicar pelo índice 1,205. Para a transformação de P em P_2O_5 , a multiplicação deve ser feita pelo índice 2,29.

Resolução da situação-problema

Em uma área de 200 ha, devem ser aplicados no plantio 40 kg ha⁻¹ de K e 30 Kg ha⁻¹ de N. Isso gera um total de 8.000 kg de K e 6.000 kg de N. Para o fornecimento de K deveremos utilizar o formulado NPK, 04-14-08, que tem 8% de K₂O. Para a conversão de K em K₂O, basta multiplicar o valor de K pelo índice 1,205, que é obtido por meio de uma regra de três entre massa atômica dos elementos. Desta forma, temos que aplicar no plantio 9.640 kg de K₂O.

Em cada saco de 50 kg de NPK existem 4 Kg de K₂O, logo, serão necessários 2.410 sacos do fertilizante formulado. Nestes 2.410 sacos NPK devem existir 4.820 kg de N. Faltarão, então, para o plantio 1.180 kg de N que deverão ser aplicados por meio do fertilizante ureia, que não contém potássio. Cada saco de 50 Kg de ureia contém 22,5 kg de N, sendo, então, necessários mais 52,44 ou 53 sacos de ureia apenas para o plantio.

Em cobertura serão aplicados mais 140 Kg ha⁻¹ de N, o que resulta em um total de 28.000 Kg de N. Usando a mesma lógica para o cálculo da quantidade necessária de sacos de ureia, será necessário adquirir mais 12.445 sacos de ureia.



Faça você mesmo

Pela situação-problema apresentada, é possível perceber que outros 40 Kg ha⁻¹ de K devem ser aplicados nesta lavoura de milho. Considerando que a fonte utilizada para adubá-la será o cloreto de potássio, contendo 52% de K₂O, calcule quantos sacos de 50 kg deste fertilizante devem ser adquiridos para que seja atendida a demanda de toda a lavoura.

Faça valer a pena

1. A calagem é uma prática muito importante na agricultura e consiste na incorporação de corretivos no solo.

Entre as funções da calagem, assinale a alternativa correta.

- a) Neutraliza a acidez e abaixa o pH do solo.
- b) Prejudica a atividade microbiana e a CTC do solo.
- c) Imobiliza N, S, P, B, Mo, Ca, e Mg.
- d) Eleva o pH do solo e neutraliza a acidez.
- e) Diminui a eficiência dos fertilizantes.

2. A calagem pode ser realizada pela utilização de diversos tipos de materiais.

O corretivo mais utilizado na calagem é o calcário agrícola. Sobre a classificação do calcário em relação à composição, assinale a alternativa correta.

- a) O calcário calcítico contém menos de 5% de MgCO₃.

- b) O calcário magnesiano contém menos de 5% $MgCO_3$.
- c) O calcário dolomítico contém menos de 5% de $MgCO_3$.
- d) O calcário calcítico contém mais de 15% de $MgCO_3$.
- e) O calcário dolomítico contém mais de 15% de $MgCO_3$.

3. Existem diferentes maneiras de calcular a necessidade de calagem para uma cultura.

Uma delas é por meio da fórmula: $NC (t ha^{-1}) = [T \cdot (V2 - V1)] / 100$.

Considerando que T é igual a 5,8; V1 é 50% e que V2 deve ser 1,2 vezes maior que V1, marque a alternativa correta para a quantidade total de calcário que deve ser aplicada na área.

- a) 4,8 $t ha^{-1}$.
- b) 5,8 $t ha^{-1}$.
- c) 5,3 $t ha^{-1}$.
- d) 4,8 $t ha^{-1}$.
- e) 3,5 $t ha^{-1}$.

Referências

- AGROINTEL. Disponível em: <<http://www.agrointel.com.br/exemplos>>. Acesso em: 10 jul. de 2016.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico; Fundação IAC, 1996. 285 p. v. 100. (Boletim técnico).
- CANTARUTTI, R. B. RIBEIRO, A. C. **Amostragem do solo**. 1999. Disponível em: <http://tempuscomunicacao.com/agricola/wp-content/uploads/2012/07/instrucao-de-amostragem-solo.pdf>. Acesso em: 1 set. 2016.
- COELHO, A. M. **Amostragem de solos: a base para aplicação de corretivos e fertilizantes**. 2003. (Embrapa milho e sorgo. Comunicado técnico, 42).
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (Viçosa, MG). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizante em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa-MG: CFSEMG, 1999. Disponível em: <<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/5%20-%20Aproximacao%20Revisada.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2016.
- ESPÍNDULA, M. C. et al. Cloroses típicas em folhas de cafeeiros *Coffeacaneophora*. **Embrapa Rondônia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2014.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 182 p.
- FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/Faepe, 2001. p. 252.
- LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. rev. e amp. Piracicaba: Potafos, 1998.
- MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. Nutrição e adubação do cafeiro adensado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 80, p. 1-7, dez. 1997. (Encarte técnico).
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. **Agrônoma Ceres**, 2006.
- MASCARENHAS, H. A. A. et al. Micronutrientes em soja no estado de São Paulo. **Revista Nucleus**, São Paulo, v. 11, n. 1, 2014.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, 1999.
- TEIXEIRA FILHO, M. C. M. et al. Análise econômica da adubação nitrogenada em trigo irrigado sob plantio direto no cerrado. **Revista Ceres**, v. 57, n. 4, 2010. Disponível em: <<http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/3790/1652>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

Unidade 4

Características dos fertilizantes minerais e orgânicos

Convite ao estudo

Os fertilizantes são substâncias com características diversas que fornecem nutrientes e estes proporcionam o crescimento e o desenvolvimento de plantas. Esses materiais são fundamentais para o desenvolvimento de um sistema produtivo agrícola economicamente viável. Os fertilizantes podem ser classificados, basicamente, como minerais e orgânicos. Fertilizantes minerais são materiais resultantes de processos industriais enquanto fertilizantes orgânicos são produtos ou subprodutos de origem animal ou vegetal. Na agricultura, os fertilizantes são utilizados tanto para repor os nutrientes extraídos do solo como também para fornecer esses nutrientes em quantidades adequadas para a produção tanto de grãos e pastagens quanto de frutas, hortaliças e bioenergia.

Dessa forma, conhecer os conceitos básicos sobre a formulação de fertilizantes e suas características nos sistemas de produção agrícola é fundamental, não só para que sejam realizadas recomendações corretas, mas também para que sejam atingidos níveis adequados de produtividade e sustentabilidade econômica e ambiental que permitam a perpetuação da atividade produtiva. Devido às peculiaridades de cada fertilizante, a utilização desses materiais é uma atividade complexa e exige o entendimento da composição, ação no solo e formas de absorção nas plantas. Seu uso inadequado pode acarretar prejuízos relacionados a desequilíbrios nutricionais nas culturas, assim como salinização e acidificação de solos agricultáveis.

Suponhamos, então, que você, como engenheiro agrônomo, venha a ser contratado por uma empresa rural, especializada no cultivo de grãos e hortaliças, da região do Brasil Central, para gerenciar a nutrição mineral das áreas cultivadas com milho. De acordo com o relatório técnico apresentado, foram realizadas a análise de solo, calagem e adubação de forma adequada. Entretanto, essas áreas de milho têm demonstrado, durante as últimas safras, baixa produtividade. Ao realizar a vistoria de campo, não foram detectados (por meio da diagnose visual) desequilíbrios nutricionais, foram realizadas coletas de amostras foliares e também foi realizada amostragem de solo na camada de 0 a 20 cm. Não foram constatados ataques de pragas, sintomas de doenças ou deficiência hídrica, levando a crer que a constante baixa produtividade deveria

estar relacionada a algum tipo de desequilíbrio nutricional.

Nessa mesma propriedade está sendo conduzida a produção de tomates de mesa com uso de estacas em sistema consorciado e foi detectada, em diagnose visual, secamento (queima) das pontas e margens dos folíolos, de folhas mais velhas. Percebeu-se, também, amadurecimento desuniforme dos primeiros frutos produzidos, ocorrendo mistura de cores (amarelecimento e/ou esverdeamento) interna e externa.

Em seu laudo, deverão ser apontadas as causas da diminuta produtividade da cultura e soluções para esse problema. Entretanto, o problema apresentado não parece ser resultante da análise de solo, da calagem ou da adubação. Seria este realmente um problema nutricional? Como otimizar a fertilidade do solo dessas áreas de forma a atender à demanda produtiva da cultura ali produzida?

Nesta unidade teremos a oportunidade de descobrir como a natureza e as características dos fertilizantes podem influenciar na disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas. Seremos capazes de compreender como é realizada uma análise espectrofotométrica e como essa avaliação laboratorial pode influenciar nas corretas análises e recomendações de fertilizantes.

Classificação dos fertilizantes

Diálogo aberto

Na produção agrícola, a aplicação de fertilizantes é um dos fatores mais importantes para que se alcancem níveis adequados de produtividade e qualidade na produção. O custo dos fertilizantes é uma parcela relativamente alta do custo de produção na agricultura. Dessa forma, a aplicação de fertilizantes adequados e em quantidades suficientes para atender às demandas nutricionais de cada cultura deve ser realizada com bastante critério. O manejo racional da adubação depende, além de características do solo e especificidades das culturas, da natureza, da formulação e de características dos próprios fertilizantes. A correta utilização desses insumos pode aumentar a eficiência no fornecimento de nutrientes, se bem utilizados, ou acarretar perdas produtivas, caso o manejo de adubação seja inadequado.



Atenção

Fertilizantes e adubos são materiais capazes de fornecer os mais diversos nutrientes às plantas, podendo apresentar formas prontamente disponíveis ou que se tornem disponíveis para a absorção pelos vegetais ao longo do tempo, quando aplicadas no meio de cultivo.

A utilização de fertilizantes é uma atividade complexa que requer que se conheçam não só as condições físicas e químicas do solo e as exigências nutricionais das culturas, mas as diferentes classificações dos fertilizantes. É muito importante que o fertilizante correto, com a concentração adequada de cada nutriente e forma física mais indicada seja aplicado em uma lavoura. Considerar a classificação dos fertilizantes na elaboração de um programa de aplicação de fertilizantes é uma das maneiras de otimizar a capacidade produtiva de uma lavoura.

Suponha que você, como engenheiro agrônomo, esteja trabalhando na nutrição de uma lavoura de milho. Foi recomendada a aplicação de 300 kg.ha⁻¹ de nitrogênio na forma de ureia granulada, parcelada em três aplicações. A aplicação da ureia foi realizada por meio de maquinário adequado e todos os demais nutrientes foram oferecidos de acordo com recomendação baseada em resultados de uma análise de solo recente e realizada por um laboratório idôneo.

Por meio da diagnose visual, foram identificados sintomas de deficiência de nitrogênio na lavoura de milho, que, certamente, causaria redução na produtividade e queda na qualidade dos grãos. De acordo com relatos do gerente da empresa rural responsável pelo cultivo, os sintomas apontados como deficiência de nitrogênio eram recorrentes nos últimos três ciclos produtivos. O maquinário utilizado na aplicação da ureia era novo e o fertilizante aplicado era ureia em pó, o mesmo que teria sido comprado nos últimos anos.

Sabendo que não foram realizadas alterações no manejo nutricional na lavoura do milho e que a aplicação de fertilizantes parecia ter sido feita em conformidade com a análise de solo da área, como podem ser observados os sintomas visuais de deficiência de nitrogênio? O que pode ter causado esses sintomas de deficiência? De que maneira a classificação dos fertilizantes pode ter influenciado no fornecimento de nitrogênio para esse caso de produção de milho?

Nesta seção, você aprenderá sobre como os fertilizantes são classificados e como essa divisão influencia de forma relevante a escolha de qual produto será utilizado, para que seja o mais adequado à cultura e área de produção.

Não pode faltar

A forma de adubação com uso de esterco animal foi utilizada por todo o continente europeu durante vários anos, e o consumo foi tão grande que tornou as fontes de material escassas. No ano de 1842, Justus von Liebig publicava a obra denominada *A química orgânica e suas aplicações à morfologia e patologia*, nesta publicação retratava-se que o suprimento de plantas era alcançado pelos nutrientes minerais do solo.

A atividade agrícola é essencial para a produção mundial de alimentos. O crescimento populacional é proporcionalmente maior que o aumento da produção ao longo do tempo. Devido a esse crescimento acelerado, os agricultores precisam produzir cada vez mais, porém, em menores áreas. Para isso é preciso aumentar a eficiência produtiva, lançando mão de técnicas de manejo e uso de fertilizantes, que oferecem uma resposta rápida para o aumento de produtividade, contribuindo para reduzir a abertura de novas áreas.

O conceito de fertilizante diz respeito a substâncias que contêm um ou mais nutrientes, necessários ao suprimento das plantas, apresentados nas formas prontamente disponíveis, ou então, que vão se tornar disponíveis de acordo com o tempo na solução do solo. Entre os processos envolvidos na

produção de plantas, a utilização de fertilizantes é um dos mais importantes para alcançar as maiores taxas de produtividade, tanto na qualidade quanto na quantidade dos produtos agrícolas. O fertilizante faz parte de uma grande parcela do orçamento de custos da produção, o que justifica uma maior atenção ao seu manejo, para que este seja racional e eficiente. Um ponto a ser destacado é a forma eficiente de adubação, que não é dependente apenas das doses ou quantidades que são empregadas, pois outros fatores estão envolvidos, como as características dos fertilizantes, que têm relação direta com as misturas e formulados, e, portanto, influenciam a eficiência da adubação.

O crescente consumo de fertilizantes minerais e orgânicos tem promovido incremento produtivo nas diversas culturas agrícolas, possibilitando que a agricultura atenda ao constante aumento na demanda por esse tipo de produto. Isso tem possibilitado, também, uma maior exploração de áreas antes consideradas de baixa fertilidade. Esse fato pode ser explicado, em parte, pela redução no preço desses insumos e pelo aumento da eficiência na aplicação e utilização de fertilizantes pelas plantas.

Além do aumento na produtividade, o uso correto de fertilizantes resulta na produção de alimentos de melhor qualidade, possibilitando que esses produtos apresentem maiores concentrações de proteínas, sais minerais e vitaminas, por exemplo. Todas essas substâncias afetam, diretamente, a nutrição humana e da criação animal, resultando em mais saúde para a população consumidora.

Para que esses benefícios sejam atingidos, é importante conhecermos as classificações dos fertilizantes, possibilitando que sejam escolhidas as melhores opções disponíveis a fim de alcançar a eficiência produtiva e qualitativa dos diversos produtos agrícolas.

Classificação dos fertilizantes quanto à natureza química

De acordo com as características químicas dos fertilizantes, esses materiais podem ser divididos em minerais, orgânicos ou organominerais. Os minerais são aqueles que apresentam em sua constituição compostos químicos inorgânicos, tanto originados de processos industriais quanto obtidos na natureza.

Alguns exemplos de fertilizantes minerais são ureia, sulfato de amônio, superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfato diâmonio (DAP), fosfato monoamônio (MAP) e cloreto de potássio. Esses fertilizantes apresentam como principal vantagem a disponibilidade do nutriente, uma vez que este está prontamente disponível para a absorção das plantas.

O uso de fertilizantes minerais é comum na agricultura devido à facilidade de obtenção e aplicação em campo. Os fertilizantes minerais mais

conhecidos na agricultura são os formulados de NPK, fertilizantes que contêm concentrações variáveis de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

Fertilizantes orgânicos podem ser considerados compostos orgânicos de origem animal, vegetal, urbana ou resíduos de agroindústria. Os fertilizantes orgânicos podem fornecer nutrientes às culturas agrícolas, melhorar a agregação, a infiltração de água e a aeração de um solo. Já os fertilizantes organominerais são aqueles resultantes das diversas associações entre fertilizantes orgânicos e minerais.



Assimile

Solos naturalmente férteis podem ser capazes de fornecer nutrientes às culturas. Entretanto, mesmo os solos mais férteis e ricos em nutrientes serão exauridos na medida em que são explorados.

Dessa forma, a aplicação de fertilizantes é fundamental para a reposição dos nutrientes exportados para as culturas.

Classificação dos fertilizantes quanto à natureza física

Quanto à natureza física, os fertilizantes podem ser classificados como sólidos, líquidos e gasosos. Os fertilizantes sólidos são os mais utilizados no Brasil. Entretanto, uma grande parcela do mercado tem sido atendida por fertilizantes líquidos, devido ao fato de esse tipo de material apresentar menor custo de produção, baixo custo de mão de obra na aplicação, utilização na adubação foliar, adaptação à fertirrigação e melhor uniformidade de aplicação.

Os fertilizantes minerais de forma sólida podem ser classificados como em pó, quando as partículas estão na forma de partículas de pequenas dimensões, e podem também ser denominados como fertilizantes farelados. Normalmente, essa denominação é dada para fertilizantes que se originam de rejeitos de origem animal e vegetal ou de subprodutos de mineração e siderurgia.

Existem ainda fertilizantes sólidos na forma de mistura de grânulos, que consistem na mistura física de matérias-primas previamente granuladas. Ocorre quando dois ou três tipos de grânulos diferentes estão presentes na mistura. Como exemplo, podemos citar a mistura de grânulos de sulfato de amônio com grânulos de superfosfato simples e grânulos de KCL. Já a mistura granulada consiste na associação de fertilizantes em pó que são submetidos a um processo de granulação para que os diferentes tipos de nutrientes estejam presentes em um mesmo grânulo.

Esses fertilizantes são classificados pela sua granulometria, que é a classificação do fertilizante de acordo com o tamanho da partícula, determinada por

meio de peneiras com diferentes aberturas. É válido lembrar que a legislação brasileira de fertilizantes regulamenta que a soma das garantias mínimas das formulações NPK, indicadas pelo fornecedor, para os tipos simples e complexo, que apresentam percentual sobre o peso do produto, não pode apresentar níveis inferiores a 24%.

Os fertilizantes líquidos ou fluidos são aqueles que se apresentam no estado líquido, como o próprio nome sugere. Podendo ser subdivididos em duas classes:

- Soluções: fertilizantes líquidos na forma de soluções verdadeiras, sem material sólido.
- Suspensões: fertilizantes líquidos na forma de suspensões, ocorrendo uma fase sólida dispersa num meio líquido.

Os fertilizantes líquidos são utilizados em aplicação via foliar, em sistemas hidropônicos e em sistemas de fertirrigação. Nesses casos, é de grande importância que esses materiais tenham alta solubilidade e estabilidade. A aplicação de fertilizantes líquidos é eficiente, principalmente quando realizada via foliar. Isso pode gerar economia de mão de obra e ganhos reais em eficiência. Esse tipo de fertilizante permite, ainda, que a distribuição dos nutrientes na lavoura seja realizada de maneira mais homogênea. Outras vantagens da utilização de fertilizantes líquidos é a menor perda gerada pelos processos de volatilização e lixiviação, que ocorrem na aplicação via solo, e absorção facilitada dos nutrientes, pelo fato de a solução líquida ser facilmente absorvida tanto pelas folhas quanto pelas raízes, no caso de aplicação via solo.

No que se refere aos fertilizantes gasosos, são considerados aqueles que se encontram na forma de gás em condições normais de temperatura e pressão. O único fertilizante que se apresenta na forma gasosa é a amônia anidra.



Exemplificando

O tipo de fertilizante empregado na cultura precisa ser considerado porque, no caso do nitrogênio, a aplicação de N-fertilizante depende do seu tipo e formulação, uma vez que certas fórmulas estão sujeitas à mineralização ou volatilização. Como exemplo, tem-se a aplicação de ureia no sistema de plantio direto: pode ocorrer a sua volatilização e, com o acúmulo de material vegetal na superfície, aumenta-se a relação C:N, favorecendo a imobilização do N pelos microrganismos no solo.

Dentre as particularidades no emprego de fertilizantes, é importante que se fique atento às perdas que podem ocorrer após aplicação em campo. O nitrogênio na forma de amônia, por exemplo, pode ser volatilizado após

a aplicação. Outro tipo de perda muito comum é a lixiviação do fertilizante, após um evento como a chuva. Portanto, nesse caso, deve-se priorizar a aplicação parcelada do fertilizante em até três doses, evitando as perdas ocorridas por uma única aplicação.

Outras características também precisam ser lembradas, como a época de aplicação. Os produtos que são classificados como de baixa solubilidade devem ser aplicados com antecedência, permitindo que sejam dissolvidos. De forma geral, a recomendação é de que os produtos que são pouco solúveis sejam aplicados nas fases de maior exigência pela cultura, levando em consideração que estarão sujeitos a perdas na solução do solo. Então a prática de parcelamento, principalmente de fertilizantes nitrogenados, é um fator importante para a eficiência do produto.



Refleta

A capacidade de um fertilizante em fornecer nutrientes às plantas depende do teor e da fórmula química desse material. Portanto, podemos concluir que quanto maior for a concentração de um ou mais nutrientes em um fertilizante, melhor será esse produto para a aplicação na agricultura?

A forma de aplicação ou localização também tem de ser preconizada na fertilização, uma vez que os adubos de baixa solubilidade devem ser aplicados em área total e bem incorporados ao solo, a fim de que os fatores solubilizantes possam agir melhor. Os adubos solúveis devem ser aplicados mais localizada-mente, próximos às raízes, para diminuir as perdas.

A uniformidade da distribuição está relacionada à dose de adubo recomendada, que deverá ser aplicada uniformemente por toda a área, observando-se o modo de aplicação indicado. Isso depende da qualidade dos equipamentos utilizados como aplicadores, da sua regulação e operacionalidade correta, e depende também de alguns aspectos, como a qualidade do fertilizante e a sua composição granulométrica. Dependendo da forma física do fertilizante, o sucesso da fertilização pode ser comprometido, uma vez que se deve relacionar a necessidade (aplicação em área total ou localizada) com o tipo físico do fertilizante. Isso porque alguns tipos de aplicação, por exemplo, a de calcário, são realizados em área total, lançando mão de um tipo de fertilizante na forma de pó, fato que pode gerar perdas, seja pelo vento ou regulação inadequada. Outro caso é o fertilizante granulado: quando a partícula tem maior peso e volume, pode ser arremessada a grandes distâncias, perdendo o ponto-alvo de aplicação e provocando perdas econômicas pela posição incorreta do fertilizante, bem como do produto mal aplicado.

Caro aluno, agora que você conheceu mais alguns dos conceitos fundamentais na dinâmica de fertilizantes, está na hora de colocar seu aprendizado em prática! Na situação-problema desta seção, você deve responder aos seguintes questionamentos: sabendo que não foram realizadas alterações no manejo nutricional na lavoura do milho e que aplicação de fertilizantes parecia ter sido feita em conformidade com a análise de solo da área, como podem ser observados sintomas visuais de deficiência de nitrogênio? O que pode ter causado esses sintomas de deficiência? De que maneira a classificação dos fertilizantes pode influenciado no fornecimento de nitrogênio para esse caso de produção de milho?

Durante o estudo, foi observada a deficiência nutricional de nitrogênio, por meio de sintomas de amarelecimento de folhas velhas. Analisando os sintomas apresentados pela cultura, constata-se que há deficiência do nitrogênio (N), apesar da adubação ter sido realizada conforme a análise de solo, então algum outro fator está comprometendo a dinâmica desse nutriente.

Diante dessa situação, podemos compreender que, apesar das operações de fertilização estarem de acordo com a análise de solo, o tipo de fertilizante empregado também precisa ser considerado. Constatou-se que a aplicação de ureia foi realizada na forma de ureia em pó. Entretanto, para a aplicação desse tipo de fertilizante por meio de máquinas, recomenda-se que seja utilizada ureia granulada. Dessa forma, a quantidade de nutriente que efetivamente alcançou a solução do solo pode não ter sido a adequada. Parte do fertilizante pode ter ficado retida no equipamento de aplicação ou ainda ter sido distribuída de forma inadequada.

A compreensão da forma como os fertilizantes são classificados é relevante para que suas particularidades sejam consideradas e, assim, o profissional responsável pela produção possa orientar a melhor forma de aplicação.



Atenção

As características físicas dos fertilizantes são importantes para que o fornecimento dos nutrientes seja realizado de forma adequada para a cultura. Essas características podem definir a homogeneidade na aplicação do produto, na velocidade de dispersão, entre outros.

Para solucionar o problema a empresa rural deveria continuar utilizando o maquinário para aplicar o fertilizante da mesma forma. Entretanto, é importante que o fertilizante aplicado seja substituído. A ureia na forma de pó não é

adequada para o tipo de aplicação realizado. A ureia na forma granular permitiria uma distribuição mais homogênea, sendo a aplicação eficiente.

Avançando na prática

Eficiência na aplicação de fertilizantes

Descrição da situação-problema

Após conhecermos as formas dos fertilizantes e seus tipos de apresentação, podemos compreender melhor como as suas características podem influenciar na eficiência da aplicação. Sabe-se que a utilização de ureia, tanto na forma de pó quanto granular, pode gerar perdas de até 74% por volatilização de amônia quando realizada em cobertura, em condições ambientais desfavoráveis.

Conhecendo essa possibilidade de perdas por volatilização, um produtor pretende aumentar a eficiência na aplicação de nitrogênio em sua área de cultivo de café. Entretanto, ele acredita que a ureia é o melhor fertilizante para o fornecimento de nitrogênio pelo fato de ser muito solúvel, apresentar grande concentração de nitrogênio e ter preço convidativo.



Lembre-se

As características físicas dos fertilizantes podem reduzir ou aumentar a eficiência na aplicação de nutrientes. Portanto, um mesmo fertilizante pode ser utilizado sob diferentes formas físicas e estas influenciam na quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas, que podem ser alteradas de acordo com cada forma.

Sabe-se que a quantidade de matéria orgânica, basicamente casca de café carbonizada, presente sob a copa das raízes das plantas de cafeeiro torna-se um impedimento ao contato direto das partículas de ureia com o solo. Além disso, a grande concentração de carbono nesse tipo de matéria orgânica reduz a absorção de nitrogênio pelas raízes das plantas. Todas essas características fazem com que os grãos de ureia estejam ainda mais expostos à volatilização. Pensando nisso, de que forma você, como engenheiro agrônomo, poderia otimizar o fornecimento de nitrogênio a essa lavoura cafeeira? Se o produtor deseja continuar utilizando ureia para o fornecimento de nitrogênio, qual seria uma opção para que isso fosse possível, aumentando a eficiência na aplicação desse fertilizante?

Resolução da situação-problema

Na situação apresentada, temos uma lavoura perene, café, que exige aplicações anuais de nitrogênio. A utilização da ureia é constante. Entretanto, essa aplicação pode gerar grandes danos por volatilização de amônia, conforme exposto na situação-problema.

Para a redução dessas perdas e otimização do fornecimento do nitrogênio, uma das opções é o parcelamento na aplicação de ureia. Esse parcelamento normalmente é realizado, em lavouras cafeeiras, em até três vezes. Entretanto, isso não garante que as perdas sejam evitadas.

Em condições desfavoráveis, a volatilização continua sendo alta. Outra solução seria a aplicação da ureia incorporando-a no solo. A incorporação do fertilizante no solo reduz as perdas por volatilização por permitir o contato direto com o solo e rápida dissociação das partículas de ureia. No entanto, essa atividade não é recomendável para o caso da lavoura cafeeira, por causar danos às raízes das plantas.

Dessa maneira, uma forma de fornecer nitrogênio a essa lavoura, mantendo a ureia como fonte do nutriente, seria a aplicação do fertilizante diluído em água. A diluição permitiria a rápida introdução da ureia na solução do solo e, conseqüentemente, o aumento da disponibilidade. Esse processo reduziria a possibilidade de volatilização de amônia, pois a ureia sofreria pouco sob as ações ambientais.

Faça valer a pena

1. Os tipos de fertilizantes utilizados atualmente nos sistemas agrícolas possuem diferenças químicas e físicas que devem ser observadas nas operações de adubação do solo. De acordo com a classificação química dos fertilizantes, podemos classificar um fertilizante organomineral como:

- a) Sendo de origem unicamente mineral.
- b) Sendo de origem mineral ou orgânica, pois não apresenta características químicas definidas.
- c) Sendo de origem mineral, mas pode também ser de origem orgânica.
- d) Sendo resultante de processos químicos, por exemplo, a ação de ácidos.
- e) Sendo resultante de associações entre fertilizantes orgânicos e minerais.

2. O conceito de fertilizante diz respeito às substâncias que contêm um ou mais nutrientes necessários ao suprimento das plantas, apresentados nas formas prontamente disponíveis, ou então que vão se tornar disponíveis com o tempo na solução do solo. Sobre o exposto, assinale a alternativa que apresenta a correta afirmação.

- a) Os fertilizantes são derivados apenas de material sintético.
- b) São considerados como fertilizantes apenas os compostos de origem orgânica, ou seja, derivados de material orgânico em diferentes estados de decomposição.
- c) Os fertilizantes podem ser de origem mineral ou orgânica.
- d) Para ser considerado fertilizante, o composto deve ser formado a partir de material extraído de rochas.
- e) Só é considerado fertilizante o composto derivado da fermentação de dejetos de animais.

3. Alguns conceitos relacionados à eficiência do manuseio e manejo do fertilizante devem ser lembrados nos eventos de fertilização para evitar perdas do produto aplicado. Sobre a aplicação do fertilizante, é correto afirmar que:

- a) Não há diferença entre as partículas do fertilizante, pois recebem o mesmo tratamento na sua elaboração.
- b) O peso e o volume do granulado de fertilizantes são uniformes, para que não apresentem problemas com a aplicação.
- c) A granulometria dos fertilizantes não é levada em consideração no planejamento das operações de campo.
- d) A granulometria é a classificação do fertilizante de acordo com o tamanho da partícula, determinada por meio de peneiras com diferentes aberturas.
- e) O fertilizante granulado é o mais recomendado entre os profissionais das agrárias, por apresentar uma distribuição uniforme na aplicação.

Caracterização dos fertilizantes minerais

Diálogo aberto

A quantidade a ser aplicada de um determinado fertilizante deve ser planejada com base em informações prévias obtidas por meio de uma análise de solo. Essa prática é considerada fator-chave para o sucesso de um programa de adubação. Entretanto, o fornecimento da quantidade recomendada de um determinado nutriente não garante que seja atingida a máxima produção econômica. As características dos fertilizantes podem influenciar, diretamente, na absorção de nutrientes pelas plantas e no aumento de produtividade da cultura agrícola.

Deve-se considerar as diversas características de um fertilizante mineral e como elas podem intervir no desenvolvimento das culturas. Dessa maneira, sugere-se a seguinte situação-problema: você está trabalhando em uma propriedade rural com o cultivo de milho, e já identificou anteriormente que a aplicação de ureia granulada seria mais eficiente que ureia em pó.

Entretanto, após alguns ciclos da cultura, mesmo com a alteração da fonte de nitrogênio, não foi possível que se alcançasse a máxima produção econômica. As plantas cultivadas no local têm apresentado crescimento reduzido, apesar do aumento da disponibilidade de nutrientes, com a constante aplicação de fertilizantes minerais. Cogita-se que o baixo índice pluviométrico da região possa interferir no desenvolvimento da cultura. Entretanto, mesmo quando ocorre chuva constante, o cultivo tem sido dificultado.

A análise de solo sugere que os níveis de todos os nutrientes se encontram adequados. As recomendações de aplicação de fertilizantes têm sempre visado à máxima produtividade, levando-se em conta as características genéticas das sementes de milho utilizadas. Uma das maiores preocupações no planejamento da cultura tem sido fornecer potássio em grandes quantidades. Para isso, utiliza-se o fertilizante cloreto de potássio (KCl) aplicado em cobertura e sob três parcelamentos por ciclo.

Deve ser observado que as grandes doses de fertilizantes aplicadas na área podem gerar prejuízos à cultura. Mas que tipo de danos o excesso de fertilizantes poderia gerar? No programa de adubação, como poderíamos solucionar o problema apresentado e alcançar a máxima produção econômica? Como planejar essa aplicação?

No decorrer desta seção, vamos estudar sobre os fatores que compõem as características dos fertilizantes minerais quanto à sua natureza química e física, assim como sobre a granulometria, índice salino, solubilidade, concentração de nutrientes, consistência e higroscopicidade.

Não pode faltar

O correto manejo no desenvolvimento da agricultura permite que diversos benefícios para a sociedade sejam alcançados pela produção de alimentos em maior escala, incluindo o correto manejo do uso da água, a produção de energia, desenvolvimento da saúde e do bem-estar social, alimentação adequada da população e a preservação da biodiversidade. A junção desses fatores faz com que seja alcançado o desenvolvimento de forma sustentável se o manejo adotado prezar pelo uso racional e correto dos produtos utilizados. Assim, a produção de fertilizantes minerais exerce papel fundamental no desenvolvimento da agricultura e no atendimento das necessidades nutricionais da população.

O uso de fertilizantes minerais permite que as áreas agricultáveis sejam bem utilizadas, com produtividade elevada. Isso faz com que áreas de florestas e matas nativas sejam protegidas e preservadas, assim como a fauna e a flora de diversas partes do mundo, incluindo o Brasil. Se áreas plantadas são capazes de fornecer produtos agrícolas em quantidade adequada, não existe necessidade de devastar novas áreas para cultivo. Dessa forma, o uso adequado de fertilizantes é fundamental para que sejam combatidas a fome e a subnutrição da sociedade mundial.

Figura 4.1 | Fertilizante mineral



Fonte: <<http://www.agrofer.com.br/fertilizantes/6/npk>>. Acesso em: 10 out. 2016.



Assimile

Se pensarmos no fornecimento de macronutrientes primários na nutrição mineral de plantas, devemos conhecer os seguintes fertilizantes:

- Fertilizantes nitrogenados, que têm na sua composição essencial o nitrogênio, na forma de uma matéria-prima principal, a amônia.
- Fertilizantes fosfatados são compostos por substâncias contendo fósforo assimilável pelas plantas.
- Fertilizantes potássicos são muito solúveis em água, suas fontes de matéria-prima são o sulfato de potássio e o cloreto de potássio.

Exemplos de fertilizante mineral simples que fornecem um ou mais nutrientes primários são a ureia, sulfato de amônio, superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfato diâmonio (DAP), fosfato monoamônio (MAP) e cloreto de potássio. São aplicados em praticamente todas as operações de adubação. Apresentam como principal vantagem a disponibilidade do nutriente, uma vez que este está prontamente disponível para a absorção das plantas.

Os fertilizantes minerais mistos são originados de formulações combinadas entre os nitrogenados, fosfatados e potássicos. É comum o seu uso nos sistemas agrícolas por causa da facilidade de obtenção da formulação requerida pela cultura, visto que nesse tipo de combinação os macronutrientes são aplicados de forma conjunta. Outro fator que deve ser levado em consideração é a economia com a matéria-prima: muitas vezes as unidades de produção precisam de fórmulas já determinadas em anos ou safras anteriores e que se adequam à época, sendo assim, a compra do fertilizante misto em grandes quantidades confere um ganho econômico palpável. Além disso, compreende-se como fertilizante mineral misto com mistura granulada o produto que é formado por dois ou mais compostos químicos, os quais resultam numa reação química, da associação de seus elementos, para o fornecimento de mais de um nutriente.

O NPK granular é um exemplo de fertilizante mineral complexo e é muito utilizado em qualquer sistema agrícola, não apenas pelo fato de conter elementos essenciais, mas também pela sua forma química, que fornece mais de um tipo de nutriente. A grande vantagem na utilização desse produto está na possibilidade de fornecer vários tipos de nutrientes por uma só fórmula, o que pode se refletir em ganhos econômicos para o agricultor.

Natureza físico-química

Granulometria

Na seção anterior, estudamos que os fertilizantes minerais sólidos podem se apresentar em pó, farelados ou granulados. A classificação dos fertilizantes pelo tamanho das partículas se chama granulometria. Essa classificação é de grande importância pois quanto maior a superfície de contato de um determinado material, maior será a ação de certas atividades, como a absorção de água e a velocidade de reação.

Para os fertilizantes que apresentam alta solubilidade em água, a exemplo da ureia, ou que são muito higroscópicos, como o nitrato de amônio e o nitrocálcio, é recomendável que apresentem granulometria mais grosseira, de preferência em grânulos. Entretanto, pode correr o contrário, caso o fertilizante seja pouco solúvel em água, como os termofosfatos e o fosfato natural, é aconselhável que tenha a forma de pó.

Essa classificação é utilizada para os fertilizantes simples, que são formados por um único composto químico, mesmo que contenham um ou mais nutrientes de plantas. Para os fertilizantes mistos ou formulados, que são resultantes da mistura de dois ou mais fertilizantes simples, existem os seguintes tipos:

- Mistura de grânulos, que são os formulados obtidos pela mistura de dois ou mais fertilizantes simples, fazendo com que os nutrientes se apresentem em grânulos diferentes.
- Mistura granulada, que são formulados com mistura de dois ou mais fertilizantes simples em forma de pó, que gera a posterior granulação, por meio de processamento industrial. Dessa forma, cada grânulo contém todos os nutrientes que foram misturados.



Exemplificando

A mistura de grânulos pode ser um entrave à homogeneidade da aplicação de fertilizantes em campo. Em um fertilizante do tipo NPK, no transporte até o campo pode ocorrer segregação de grânulos e os mais pesados tendem a ir para o fundo da adubadora. Esse fenômeno causa distribuição irregular dos nutrientes. Dessa maneira, deve-se priorizar os formulados do tipo mistura granulada.

Índice salino

O índice salino ou salinidade de um fertilizante é a capacidade de aumentar a pressão osmótica da solução do solo. Caso essa pressão seja muito alta, superior à pressão das células vegetais, ocorrerá a transferência da água das células para o solo. As sementes tendem a sentir mais os efeitos da salinidade. Dessa forma, é importante realizar a aplicação de fertilizantes de alto índice salino de forma bastante criteriosa em adubação de plantio no sulco ou em cova. Um dos fertilizantes mais salinos é o cloreto de potássio, seguido por nitrato de amônio e nitrato de sódio.

Para confirmar se o solo está realmente com um índice salino alto, deve ser realizada uma avaliação de condutividade elétrica (CE), que terá seu valor expresso em dS/m (decisiemens por metro). Esse valor está relacionado à quantidade de sais solúveis no solo que podem apresentar toxicidade para as plantas. Caso o solo apresente valor de CE superior a 4 dS/m, significa que ele está em um estado salino.

Tabela 4.1 | Índice salino de alguns fertilizantes simples, em valor relativo ao nitrato de sódio

Fertilizante	Índice salino	Fertilizante	Índice salino
Nitrato de sódio	100	Fosfato monoamônico	30
Nitrato de amônio	105	Fosfato diamônico	34
Sulfato de amônio	69	Superfosfato simples	08
Nitrocálcio	61	Superfosfato triplo	10
Ureia	75	Cloreto de potássio	116
Amônia anidra	47	Sulfato de potássio	46

Fonte: adaptada de Furtini Neto et al. (2001, p. 114).

Solubilidade

Para os fertilizantes minerais, a solubilidade em água é muito importante, pois a reação inicial no solo envolve a dissolução ou hidrólise na solução do solo. A solubilidade em água e a concentração de nutrientes são duas das características mais importantes que definem a qualidade de um fertilizante.

Essa característica assume especial importância para adubação foliar e em fertirrigação. Fertilizantes de baixa solubilidade, como superfosfato simples, o sulfato de cálcio e fritas com micronutrientes, não devem ser utilizados na fertirrigação. Quanto mais solúvel for um fertilizante utilizado em fertirrigação, mais homogênea será a solução nutritiva a ser oferecida para as plantas. Essa característica torna a aplicação mais eficiente, com menor entupimento de bicos e melhor distribuição do nutriente na área.



Refleta

A exploração de matéria-prima para a fabricação dos fertilizantes é fundamentada na exploração dos recursos naturais, os quais podem ser gás natural, petróleo, calcário, enxofre elementar, rocha fosfatada, minerais potássicos e a atmosfera.

Dessa maneira, o uso racional e eficiente dos fertilizantes também deve ser pensado como forma de preservar a sustentabilidade ambiental.

Concentração dos nutrientes

Para os fertilizantes simples ou mistos, pode existir uma grande variedade de concentrações de nutrientes. Os produtos mais concentrados tendem a ser mais procurados por apresentarem vantagens na logística e na facilidade de aplicação.

Em fertilizantes líquidos ou sólidos, as concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio são expressas em porcentagem de N, P_2O_5 e de K_2O , respectivamente. Para o enxofre e para os micronutrientes, representa-se também na forma elementar e em porcentagem. Para cálcio e magnésio, essa expressão é realizada em porcentagem de CaO e MgO.

Consistência

É a resistência dos grânulos à quebra ou à abrasão. A consistência dos grânulos pode aumentar com o uso de substâncias aglutinantes durante o processo de granulação. Durante o transporte e o armazenamento dos grânulos, pode ocorrer desuniformidade das partículas e segregação, aumentando a higroscopicidade das partículas em tamanho mais reduzido.

Para os fertilizantes fosfatados, o teor de fósforo é medido pela concentração total de P_2O_5 total, pela concentração de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2%, pela concentração de P_2O_5 solúvel em solução neutra de citrato de amônio (CNA) e pela concentração de P_2O_5 solúvel em água. É importante saber que a concentração de P_2O_5 solúvel em água e em ácido cítrico a 2% dizem respeito ao fósforo mais disponível em um fertilizante.

Quando se trabalha com fertilizantes líquidos, para a realização dos cálculos do volume de fertilizante que deverá ser aplicado, é preciso considerar a densidade do produto, já que as garantias são referentes ao peso do nutriente por peso do fertilizante.

Higroscopicidade

A higroscopicidade é a capacidade dos fertilizantes de absorver água da atmosfera. Essa característica influencia a produção de misturas, pois caso sejam misturados produtos com higroscopicidades diferentes, o produto

final pode não apresentar estabilidade física. Essa característica é determinante também para o armazenamento dos fertilizantes. A higroscopicidade é expressa pela Umidade Relativa Crítica (Urc). Algumas misturas de fertilizantes podem ser incompatíveis, caso ocorra baixo valor de Urc.

Para que seja obtido o resultado esperado e adequado da aplicação de um fertilizante, é importante que todos os aspectos expostos, como índice salino, higroscopicidade e concentração de nutrientes, sejam considerados para adoção do melhor manejo na área, sabendo-se quais fatores irão influenciar no desempenho do vegetal.

Sem medo de errar

Caro aluno, agora que você conheceu mais alguns dos conceitos fundamentais na dinâmica de fertilizantes está na hora de colocar seu aprendizado em prática!

Na situação-problema que foi proposta, você deve responder aos seguintes questionamentos: foram aplicadas grandes quantidades de potássio na área de produção de milho. Sabe-se que isso pode gerar prejuízos à cultura, mas que tipo de danos o excesso de fertilizantes poderia gerar? No programa de adubação, como poderíamos solucionar o problema apresentado e alcançar a máxima produção econômica? Como planejar essa aplicação?

A análise de solo sugere que os níveis de nutrientes para as plantas estão adequados. Entretanto, não foi realizada uma análise química que demonstrasse a condutividade elétrica do solo da área em estudo. Isso é importante quando tratamos de áreas com manejo inadequado de fertilizantes minerais, principalmente quando as chuvas são restritas.

Durante nossos estudos, descobrimos que os fertilizantes possuem características distintas, que podem determinar o sucesso da adubação. Sabemos que foram aplicadas grandes quantidades de cloreto de potássio na área e que este fertilizante é um sal, capaz de elevar o índice salino do solo. Para confirmar se o solo está realmente com um índice salino alto, deve ser realizada uma avaliação de condutividade elétrica (CE), que terá seu valor expresso em dS/m (decisiemens por metro). Esse valor está relacionado à quantidade de sais solúveis no solo que podem representar toxicidade para as plantas. Caso o solo apresente valor de CE superior a 4 dS/m, significa que está em um estado salino.



Atenção

O efeito salino de um fertilizante depende da textura, do teor de matéria orgânica, da umidade, da distância de aplicação do fertilizante da semente ou planta e da sensibilidade das plantas. Esse problema é agravado em solos arenosos, com baixo teor de matéria orgânica. Quanto mais novas forem as plantas, mais sensíveis elas serão à salinidade.

No problema proposto, o solo pode se tornar mais produtivo, desde que seja realizada uma redução na concentração de sais solúveis, mediante a aplicação de corretivos. A técnica de correção deve ser por meio da promoção de uma lixiviação desses sais com a aplicação de condicionadores de solo, como o gesso agrícola.

Essa lixiviação dos sais pode ser realizada pelo método de lavagem contínua, no qual é mantida uma lâmina de água de 10 cm de altura sobre o solo. Dessa forma, os sais são removidos mais rapidamente, permitindo a exploração em um curto período de tempo da área. Outro método de lixiviação de sais seria pela lavagem intermitente, que é adequada para solos com reduzida capacidade de drenagem ou lençol freático elevado. Nesse caso, a irrigação é feita em tempos variáveis, não havendo necessidade de manter uma lâmina constante.

Avançando na prática

A escolha do fertilizante

Descrição da situação-problema

Você, engenheiro agrônomo, está prestando consultoria em uma fazenda de produção de grãos e foi chamado para resolver um problema na cultura da soja. Ao percorrer a lavoura você percebe que algumas plantas apresentam crescimento reduzido, baixa inserção de vagens e as folhas mais velhas apresentam coloração verde-azulada. Foi então solicitada a diagnose foliar, para verificar a hipótese de ataque de pragas ou manifestação de doenças, que foram descartadas.

De acordo com o histórico de adubação da área, as aplicações foram realizadas de forma correta, preconizando os níveis dos nutrientes essenciais, baseando-se na análise de solo. No entanto, a diagnose visual das plantas sugere que está ocorrendo deficiência nutricional por parte de algum elemento essencial ao crescimento da cultura. Sabe-se que foi realizada a aplicação de fertilizantes minerais na cultura. Se a correção do solo e a adubação foram realizadas corretamente, por que essa deficiência se manifestou?



Lembre-se

Os fertilizantes representam uma grande parcela dos custos de produção agrícola. Dessa forma, o manejo de adubação deve ser racional e eficiente. A forma eficiente de adubação não é dependente só das doses empregadas, mas também das características químicas e físicas dos fertilizantes.

Resolução da situação-problema

Para solucionar o problema, devemos primeiramente recorrer à análise de solo. A amostragem de solo é de fundamental importância para saber qual nutriente está limitando a cultura. Também devemos lembrar que a análise de folhas pode demonstrar os níveis de nutrientes exportados para a planta e então observar como ocorre a dinâmica desses nutrientes. Nesse caso específico, analisando os sintomas apresentados pelas plantas, sugere-se que a deficiência de fósforo (P), apesar de a adubação ter sido realizada em quantidades corretas, ou seja, algum fator externo pode ter interferido na dinâmica desse nutriente.

Sabe-se que o fósforo é um nutriente pouco móvel, e que em sua dinâmica no solo pode se tornar indisponível para as plantas. Nesse caso específico, foi aplicado um fertilizante mineral. Entretanto, esse fertilizante apresentava baixa solubilidade e, conseqüentemente, havia pouco fósforo disponível para as plantas.

A disponibilidade de fósforo no solo para a cultura pode ser melhorada substituindo-se o fertilizante utilizado por outro de maior solubilidade, por exemplo.



Faça você mesmo

Durante esta seção estudamos algumas características dos fertilizantes minerais. Imagine agora que um produtor rural deseja armazenar um fertilizante em silos de sua propriedade e, depois, transportá-lo para outra fazenda, localizada a 800 km de suas terras. Qual fertilizante misto você recomendaria que ele comprasse: uma mistura de grânulos ou uma mistura granulada?

Faça valer a pena

1. Os fertilizantes ou adubos minerais são compostos que podem conter um ou mais nutrientes para as plantas. Esses nutrientes podem ser fornecidos nos fertilizantes em diversas formas físicas. Sabe-se que existem fertilizantes minerais simples e mistos e que os nutrientes neles presentes podem estar prontamente disponíveis ou serem liberados ao longo do tempo.

Quais são as características de um fertilizante mineral misto do tipo mistura granulada?

- a) Produto que é formado por dois ou mais compostos químicos, os quais resultam numa reação química da associação de seus elementos, para o fornecimento de mais de um nutriente.
- b) Produto que é formado por um composto químico, não possibilitando reações químicas entre seus elementos, para o fornecimento de mais de um nutriente.
- c) Produto que é formado sempre por três compostos químicos, os quais resultam numa reação química da associação de seus elementos, para o fornecimento de mais de um nutriente.
- d) Produto que é formado por todos os elementos essenciais, os quais resultam numa reação química, da associação de seus elementos, para o fornecimento de mais de um nutriente.
- e) Produto que é formado por no mínimo 5 elementos essenciais, os quais resultam numa reação química da associação de seus elementos, para o fornecimento de mais de um nutriente.

2. A solubilidade dos fertilizantes minerais é de grande importância para disponibilidade de nutrientes em solo. Para os fertilizantes minerais sólidos, quanto mais solúvel em água, mais disponíveis os nutrientes vão se tornar na solução do solo. Para os fertilizantes líquidos a característica da solubilidade é ainda mais importante.

Qual das alternativas apresenta uma característica da solubilidade de um fertilizante mineral líquido utilizado na fertirrigação?

- a) Facilidade de armazenamento.
- b) Maior estabilidade química.
- c) Maior tempo de armazenamento.
- d) Maior homogeneidade da solução nutritiva.
- e) Possibilidade de introdução de mais nutrientes em um mesmo grão.

3. Existem características desejáveis em um fertilizante mineral para reduzir custos de armazenamento e logística e aumentar a eficiência na aplicação.

Qual alternativa apresenta duas dessas características?

- a) Alta solubilidade e alta concentração de nutrientes.
- b) Baixa solubilidade e alta higroscopicidade.
- c) Alta higroscopicidade e alto índice salino.
- d) Alta solubilidade e alto índice salino.
- e) Baixa concentração de nutrientes e alta higroscopicidade.

Caracterização dos fertilizantes orgânicos

Diálogo aberto

O sistema de adubação orgânica e agroecológica, se realizado de forma adequada, é capaz de proporcionar nutrição equilibrada para as plantas cultivadas, respeitando o meio ambiente e buscando a sustentabilidade econômica e social. A adubação orgânica é também utilizada nos sistemas convencionais de cultivo, em associação aos fertilizantes minerais.

Esse tipo de material pode ter diversas origens, mas sua utilização gera benefícios aos sistemas agrícolas que vão muito além do fornecimento de nutrientes às plantas, contribuindo para a melhoria das condições químicas e físicas do solo. Para que os fertilizantes orgânicos sejam manejados em um sistema agrícola de forma adequada, é importante que se conheça a dinâmica do solo, o ambiente e as exigências nutricionais da cultura. Os adubos orgânicos possuem particularidades que precisam ser observadas para a recomendação por parte do profissional responsável.

Para começarmos o estudo, exploraremos a seguinte situação-problema: você, como engenheiro agrônomo, obteve sucesso em solucionar os problemas apresentados na cultura do milho. Por isso, foi convidado para trabalhar em uma nova área de produção de hortaliças em que há a utilização de fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo. Nessa área está sendo conduzida a produção de tomates de mesa com uso de estacas em sistema consorciado e foi detectado, em diagnose visual, secamento (queima) das pontas e margens dos folíolos de folhas mais velhas. Percebeu-se também amadurecimento desuniforme dos primeiros frutos produzidos, ocorrendo mistura de cores (amarelecimento e/ou esverdeamento) interna e externa. Sintomas que remetem à deficiência de potássio.

Realizou-se a análise de solo prévia e todos os nutrientes foram fornecidos adequadamente na forma de composto orgânico. Sabe-se que os nutrientes fornecidos na forma de material orgânico tendem a ser liberados mais lentamente que os nutrientes presentes nos fertilizantes minerais solúveis. Mas se as plantas receberam suprimento de nutrientes em quantidades adequadas necessárias para o desenvolvimento da cultura, como pode estar ocorrendo deficiência desse nutriente? O que pode ter ocasionado a deficiência apresentada nos vegetais? Que tipo de fertilizante poderia ser utilizado para suprir essa demanda nutricional?

Durante esta seção estudaremos as características físicas e químicas dos fertilizantes orgânicos e os fatores que influenciam essas características. Estudaremos também o efeito condicionador desses materiais e as formas de apresentação disponíveis para utilização e comercialização.

Não pode faltar

O sistema de produção agropecuário está diretamente ligado à produção de resíduos orgânicos, os quais contêm, em diferentes proporções, todos os nutrientes essenciais às plantas. Esses resíduos podem ser de origem animal, vegetal, agroindustrial, ou ainda, resíduos urbanos, como lixo e esgoto tratados. Esses materiais são adequados para serem utilizados como fertilizantes orgânicos.

Os fertilizantes orgânicos são compostos por material orgânico que sofre processos físicos, químicos, físico-químicos ou bioquímicos. Eles podem ser encontrados tanto na forma sólida, como é o caso dos diversos estercos e compostos, como na forma líquida, a exemplo do *bokashi*, da vinhaça e do chorume. A utilização desses fertilizantes apresenta grandes vantagens para a qualidade dos solos, seja em sua composição química, física ou biológica. Permite ainda o uso adequado de resíduos que não teriam destinação ambientalmente segura e que apresentavam potencial de contaminação de águas em substituição aos fertilizantes minerais, possibilitado maior economia de recursos naturais não renováveis.

Com relação à escolha do tipo de fertilizante a ser utilizado, se mineral ou orgânico, deve-se dar prioridade ao uso do orgânico, seja um resíduo vegetal, animal ou agroindustrial. O uso de fertilizantes orgânicos deve ser priorizado, pois estes elevam a porcentagem de matéria orgânica de um solo, o que representa maior fertilidade. A adubação orgânica vai além da adução mineral tradicional, pois é uma importante prática de sustentabilidade do uso do solo e de preservação ambiental.

Os fertilizantes minerais representam uma parcela grande nos custos de produção em um sistema agrícola. Nas propriedades agrícolas, vários materiais orgânicos estão disponíveis, podendo ser utilizados como adubos para as plantas, reduzindo custos. Como exemplo dessa aplicação, podemos citar os estercos curtidos de animais, resíduos de culturas, composto, adubação verde, e outros, como o lodo de esgoto, composto de lixo e resíduos de indústrias agropecuárias. Todos são capazes de fornecer nutrientes para as plantas, mesmo que a concentração desses nutrientes seja baixa. Nesse tipo de fertilizante, os nutrientes estão em forma orgânica, devendo então

ser mineralizados para melhor aproveitamento pela planta, o que pode demandar um tempo maior em comparação ao fertilizante mineral.

Os fertilizantes orgânicos simples são compostos que usam material vegetal ou animal e podem conter um ou mais nutrientes para nutrição de plantas. São muito utilizados nos sistemas agrícolas que preconizam a permanência de restos vegetais, por exemplo, o plantio direto. A possibilidade de que adubos minerais sejam adicionados aos restos de cultura permite que o fertilizante seja disponibilizado de forma gradual, mantendo assim uma umidade adequada para a sua utilização pelas plantas.

Os fertilizantes orgânicos mistos originam produtos de natureza orgânica, resultantes de uma mistura de fertilizantes orgânicos simples, podendo conter mais de um nutriente essencial às plantas.

O fertilizante orgânico composto é derivado de processos físicos, químicos, químico-físicos, bioquímicos, de forma natural, controlada, com matéria-prima de origem da indústria, urbana ou rural, animal ou vegetal, e também podem ser enriquecidos com nutrientes ou qualquer agente que promova melhorias em suas características, seja na forma química, física ou biológica.

Para a sua utilização, recomenda-se sempre que o produtor faça a análise prévia dos materiais disponíveis na propriedade, para que conheça os teores de nutrientes contidos neles, pois a composição e concentração varia de uma fonte para outra. Os vários fertilizantes orgânicos apresentam quantidades de nutrientes, teores e formas de liberação diferentes. Um exemplo são os esterco da produção bovina, que apresentam alta relação C/N (carbono e nitrogênio) e baixa quantidade de nutrientes, sendo a decomposição lenta e os nutrientes disponibilizados em menores quantidades para as plantas. Dessa forma, muitas vezes não são capazes de suprir as necessidades nutricionais, principalmente por nitrogênio, das plantas, sendo necessária aplicação complementar com fertilizantes minerais. Entretanto, podem contribuir muito para o incremento da matéria orgânica do solo. Entre os principais efeitos dos fertilizantes orgânicos sobre as propriedades químicas do solo está o enriquecimento gradual com macronutrientes.



Exemplificando

Para um sistema de rotação de culturas, entre gramíneas e leguminosas, recomenda-se a aplicação de fertilizantes orgânicos principalmente no cultivo da gramínea. Esse fertilizante pode ser resultante da incorporação do material vegetal da cultura anterior. Esse tipo de manejo é conhecido como “adubação verde”.

Efeito condicionador do solo

Os fertilizantes, como já foi dito, são fontes de nutrientes para as plantas. Mas, além disso, fornecem matéria orgânica para o solo, principalmente no caso de solos mais arenosos ou que contêm argila de baixa atividade. Essa adição de matéria orgânica propicia melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. A essa melhoria nos atributos do solo chamamos de efeito condicionador de solo. Podemos então destacar algumas alterações dos atributos do solo causadas pela adubação orgânica quando comparada à adubação mineral:

- Elevação da CTC, do poder tampão, da capacidade de retenção de água, da disponibilidade de micronutrientes do solo e da atividade microbiana.
- Melhoria na estrutura do solo, facilitando a aeração e o crescimento radicular.
- Maior disponibilidade do fósforo, pela redução da precipitação com alumínio e ferro.
- Suprimento de substâncias de crescimento.
- Elevação no teor de CO_2 no solo e na parte aérea das plantas, promovendo maior fotossíntese.
- Redução na atividade de alumínio em solução, pela complexação deste em ligações fortes com grupamentos carboxílicos e fenólicos.
- Redução da toxidez do alumínio, em conjunto com a atividade da calagem, principalmente em fertilizantes que sejam fonte de magnésio.
- Maior proteção superficial do solo contra encrostamento e estabilização da temperatura do solo.



Assimile

Os adubos orgânicos estão sujeitos às mesmas ações ambientais encontradas nos fertilizantes minerais, ainda que em menores quantidades. Exemplos são a fixação do P, perdas de N, por volatilização de amônia ou lixiviação, imobilização pelos microrganismos etc. Uma exceção é o potássio (K), que não precisa ser mineralizado, pois é disponibilizado integralmente na solução do solo quando está na forma orgânica.

Forma dos nutrientes

Os fertilizantes orgânicos têm como principal característica o fato de que os nutrientes presentes em sua composição, exceto o potássio, encontram-se, predominantemente, na forma orgânica. Dessa maneira, para que

sejam absorvidos pelos vegetais, é necessário que ocorra uma transformação da forma orgânica para a forma mineral. Isso é possível graças ao processo de decomposição da matéria orgânica, também conhecido como mineralização. Nesse processo ocorre a liberação lenta de nutrientes para a solução do solo. Essa liberação gradual de nutrientes na solução do solo obedece à demanda de absorção pelas plantas.

Essa característica resulta em vantagens adicionais do uso da adubação orgânica, quando comparada à adubação mineral:

- Reduzido potencial de perdas dos nutrientes por lixiviação e volatilização.
- Menor potencial de salinidade às sementes, plântulas e microrganismos.
- Realização de adubação em única aplicação, em substituição aos parcelamentos.
- É possível fornecer todos os nutrientes de que as plantas necessitam, havendo poucas chances de ocorrer um desrespeito à “lei do mínimo” dos fertilizantes.



Refleta

O uso do fertilizante orgânico evita impactos ambientais gerados pela exploração e utilização dos adubos minerais, melhora os atributos físicos do solo e confere um ambiente favorável à proliferação de microrganismos.

Quais seriam mesmo os impactos ambientais gerados pela exploração e uso dos adubos minerais?

Antes da aplicação de fertilizantes, deve ser realizada uma análise de seus componentes, pois tanto em fertilizantes sólidos quanto em líquidos o teor de nutrientes é variável. Quando se trata de resíduos de origem vegetal, esse teor dependerá da espécie da planta a ser utilizada, da idade e da fertilidade do solo em que foi cultivada. Para resíduos animais, varia de acordo com a espécie animal, com a alimentação em vida, com a coleta e o processamento e com as condições de armazenagem.

Não só os teores totais dos nutrientes são importantes. Para os fertilizantes orgânicos, a relação C/N é fundamental, pois influencia diretamente na mineralização do material. Quanto maior for essa relação, mais lenta será a mineralização da matéria orgânica. Exemplos são a casca de café, em que a porcentagem de nitrogênio varia de 0,6 a 1,2%, com uma relação C/N de 5/12; o esterco bovino, que tem de 0,3 a 3,5% de N, com uma relação C/N de 1/2; e a vinhaça, que apresenta uma porcentagem de 0,3 a 1,2% de N.

Por essas baixas concentrações, podemos concluir que as quantidades de fertilizantes orgânicos a serem aplicadas em um solo tendem a ser muito elevadas. Por isso, caso o fertilizante orgânico não esteja próximo à propriedade, podem ser elevados os custos com logística e aplicação.

Composto orgânico

O composto orgânico pode ser classificado como todo produto de origem vegetal e animal que, aplicado ao solo em quantidades, épocas e maneiras adequadas, proporciona melhoria nas suas características físicas, químicas, físico-químicas e biológicas. O composto, quando aplicado no solo, deve ser capaz de realizar correções como a toxidez e fornecer às plantas nutrientes suficientes para produzir, sem causar danos ao solo, à planta e ao meio ambiente.

Figura 4.2 | Compostagem orgânica



Fonte: <<http://www.meudoverde.com.br/wp-content/uploads/2013/10/Como-fazer-adubo-org%C3%A2nico-2.jpg>>. Acesso em: 12 out. 2016.

A compostagem é o processo controlado pelo qual ocorre a transformação da matéria orgânica, em que temos a estabilização do material. Na natureza isso ocorre durante um período de tempo indeterminado. Pela compostagem é possível obter o material humificado em um curto espaço de tempo. Nesse processo, ocorre a decomposição microbiana de uma massa heterogênea de resíduos no estado sólido e úmido. É a transformação bioquímica da matéria orgânica em sais minerais solúveis, os quais podem ser absorvidos pelas plantas.

Dessa forma, podemos também definir o composto como sendo o produto final da compostagem da matéria orgânica crua. O composto caracteriza-se por ser uma massa de textura fina e homogênea, que não apresenta o odor característico dos resíduos que deram origem a esse material. É uma ótima fonte de nutrientes na forma mineralizada para as plantas. É também um condicionador de solo, melhorando os atributos do solo.

Caro aluno, agora que você conheceu mais alguns dos conceitos fundamentais na dinâmica de fertilizantes orgânicos, está na hora de colocar seu aprendizado em prática! Na situação-problema desta seção, foi apresentada uma situação de deficiência de potássio em plantas de tomate cultivadas em um sistema em que eram utilizados fertilizantes orgânicos e minerais. As plantas receberam suprimento de nutrientes em quantidade adequada, necessária para o seu desenvolvimento. Foram apresentados os seguintes questionamentos: como pode estar ocorrendo deficiência de potássio? O que pode ter ocasionado a deficiência apresentada nos vegetais? Que tipo de fertilizante poderia ser utilizado para suprir essa demanda nutricional?

As culturas comerciais de forma geral respondem muito bem à adubação orgânica, mas depende do teor de nutrientes no solo e dos níveis encontrados nos fertilizantes orgânicos. A adubação orgânica garante praticamente todos os nutrientes necessários à cultura do tomate, além de estimular a proliferação de microrganismos no solo, permitindo a abertura de poros que se tornam caminhos preferenciais das raízes.

No entanto, o adubo orgânico possui algumas particularidades que têm de ser lembradas no seu uso. Possuem uma faixa de variação da composição química muito grande, fazendo com que a dose aplicada seja condicionada em relação à mineralização da matéria-prima utilizada, ou seja, do tipo de adubo orgânico. Depende também dos teores de nutrientes extraídos e da fertilidade do solo. Isso porque alguns nutrientes contidos nos adubos orgânicos estão essencialmente na forma orgânica, devendo ser mineralizados para disponibilização às plantas.



Atenção

Durante o estudo foram apresentadas as características do fertilizante orgânico, em especial do comportamento deste em relação à mineralização no solo. Com essa fundamentação teórica, é possível compreender melhor como devem ser utilizados os diversos fertilizantes orgânicos disponíveis.

A partir desse ponto, seu comportamento é semelhante ao dos compostos minerais, como o fósforo, que sofre mineralização de cerca de 80% no primeiro ano de cultivo e aproximadamente 20% no segundo ano. O nitrogênio apresenta uma taxa de mineralização de aproximadamente 50% no primeiro ano e 20% no segundo, portanto, no terceiro ano de cultivo, obtém-se a totalidade dos fertilizantes aplicados. Por isso, deve-se observar o tipo de fertilizante orgânico empregado quando se necessita de quantidades do nutriente prontamente disponíveis,

pois a adubação não garante a disponibilidade do nutriente de imediato.

Entretanto, nosso problema está na deficiência de K no solo. O que deve ter acontecido é que os fertilizantes orgânicos utilizados na área não conseguiram suprir a demanda de K para o desenvolvimento da cultura. Devemos lembrar que na matéria orgânica o K não precisa ser mineralizado para se tornar prontamente disponível para as plantas. Isso significa que, entre o período de análise de solo e a efetiva demanda por K pela cultura, a maior parte desse nutriente já havia sido consumida, provavelmente por plantas que estavam em consórcio com a cultura do tomate.

Dessa forma, houve baixa oferta do nutriente para a cultura. Para resolver esse problema, deve-se considerar o período de demanda de K pela cultura, que ocorre no período de frutificação. Para o melhor aproveitamento do K, este deve ser aplicado na forma orgânica, no plantio e antes do início da produção dos primeiros frutos. Outra alternativa seria utilização de fertilizantes minerais sólidos, aplicados de forma parcelada, ou de fertilizantes minerais líquidos que contivessem K, aplicados na parte aérea das plantas.



Lembre-se

Os fertilizantes orgânicos apresentam, normalmente, baixa concentração de nutrientes. Devem ser buscados produtos próximos à área em que serão aplicados.

Avançando na prática

Recomendação de adubação orgânica para o plantio de pimenta

Descrição da situação-problema

Um agricultor deseja formar uma produção de pimentas, pensando em atender um mercado que consome produtos agroecológicos. Ele decidiu contratar você, engenheiro agrônomo, para prestar consultoria e orientá-lo sobre a utilização de fertilizantes na sua área, prezando pelos princípios da agricultura orgânica.

Dessa maneira, quais são as informações mais importantes sobre as características dos fertilizantes orgânicos que esse produtor precisa conhecer? O que o agricultor precisa considerar para a escolha do tipo de fertilizante orgânico que vai utilizar? O que será necessário fazer para alcançar a taxa de produtividade desejada, possibilitando o aumento na rentabilidade financeira do cultivo?



Lembre-se

Uma das características que deve ser observada é o conceito de condicionador do fertilizante orgânico no solo, ou seja, se promove as melhorias nas qualidades físicas do solo, como da porosidade, aeração, capacidade de retenção de água, entre outras.

Resolução da situação-problema

Nesse caso, como primeira medida, o agricultor precisa solicitar a análise de solo para saber dos reais níveis de fertilidade do solo que será utilizado. Essa análise é imprescindível, uma vez que o solo vai ser misturado a um agente condicionador. Também devemos realizar uma análise do material a ser adicionado ao solo, que deve ser capaz de suprir todas as necessidades da cultura. Essa medida é importante porque é preciso lembrar que esse tipo de material pode conter diferentes níveis de elementos, acarretando a intoxicação das plantas ou até atribuindo altos níveis de salinidade, o que prejudicaria seriamente a cultura.

Com os resultados da análise de solo, o agricultor poderá calcular a correção de acidez e a adubação orgânica. Ele deve considerar que os fertilizantes orgânicos apresentam diferentes quantidades de nutrientes e formas de liberação de um material para outro. No entanto, cada tipo de fertilizante atua na melhoria das condições do solo de forma diferente, como o esterco animal, que tem como característica a decomposição lenta por causa da sua alta relação C/N e uma baixa quantidade de nutrientes, porém contribui fortemente para o acúmulo de matéria orgânica no solo.

Nesse caso, como os fertilizantes orgânicos possuem baixas quantidades de nutrientes e a sua liberação ocorre lentamente, para alcançar a taxa de produtividade desejada é preciso complementar as necessidades das plantas, associando um fertilizante mineral. Existem no mercado produtos que são fabricados pela mistura de orgânicos e minerais, conhecidos como fertilizantes organominerais, que garantem os teores de NPK e o teor de matéria orgânica; seriam a matéria-prima selecionada para esse evento de plantio.



Faça você mesmo

Durante esta seção, foram expostos alguns aspectos relacionados às características dos fertilizantes orgânicos. Descobrimos a concentração de N e a relação C/N de alguns materiais. Busque esses dados para fertilizantes como cama de frango, chorume, bagaço de cana e lixo urbano. Boa pesquisa!

1. A compostagem é um processo muito importante para a produção de fertilizantes orgânicos de qualidade. Sobre as vantagens no uso do fertilizante orgânico, sabe-se que diminui os impactos ao meio ambiente pelo fato de reaproveitar materiais que seriam descartados na natureza.

Qual o produto resultante do processo de compostagem?

- a) Fertilizante mineral misto.
- b) Composto orgânico.
- c) Fertilizante natural.
- d) Fertilizante complexo.
- e) Fertilizante organomineral.

2. O adubo orgânico simples tem como matéria-prima principal o material vegetal, seja de restos de culturas ou outros tipos de resíduos.

Em que situações o adubo orgânico simples é mais utilizado?

- a) Esse tipo de fertilizante não tem muita utilização nos sistemas agrícolas, sendo mais empregado na técnica de paisagismo.
- b) Esse tipo de fertilizante é mais utilizado para a destinação dos restos vegetais de espécies urbanas, ou seja, árvores de praças e qualquer outra via.
- c) Esse tipo de material é triturado e é utilizado exclusivamente em hortas, cobrindo os canteiros e servindo como uma manta protetora.
- d) Esse tipo de fertilizante é simples de ser obtido e seu custo é baixo, assim as instituições municipais praticam a doação desse material para o cultivo de jardins nas casas da população.
- e) Esse tipo de material é utilizado nos sistemas agrícolas que preconizam a permanência de restos vegetais, como o plantio direto.

3. O fertilizante orgânico contribui para vários efeitos benéficos em relação aos atributos químicos do solo.

Sobre o efeito do fertilizante orgânico, é correto afirmar que:

- a) Os principais efeitos dos fertilizantes orgânicos sobre as propriedades químicas do solo são conhecidos como o enriquecimento gradual com macronutrientes.
- b) O fertilizante orgânico age principalmente no enriquecimento do teor de micronutrientes no solo, tem-se como exemplo o enxofre.
- c) Melhora essencialmente o conteúdo de nitrogênio no solo, por conter maiores quantidades desse elemento do que os fertilizantes químicos.
- d) Promove melhorias principalmente no conteúdo de cálcio do solo, uma vez que o resíduo orgânico sempre contém grandes quantidades desse elemento.
- e) O fertilizante orgânico age principalmente na síntese de absorção dos nutrientes, uma vez que sua formulação está prontamente disponível para as plantas.

Espectrofotometria

Diálogo aberto

Atualmente, a análise química do solo é utilizada como ferramenta de diagnóstico da fertilidade deste, sendo as técnicas empregadas para esse fim amplamente difundidas. O sucesso da análise dependerá da quantidade e, principalmente, da qualidade das pesquisas que permitem calibrar e interpretar os resultados obtidos, com base nos quais são feitas as recomendações de corretivos e fertilizantes.

A primeira técnica a ser abordada é a espectrofotometria de absorção atômica, a qual estuda a capacidade de determinados compostos químicos absorverem ondas de radiação eletromagnética. A absorção é diferente para cada elemento, assim é possível identificar o composto químico, baseado nas leis que governam esse fenômeno de absorção, por isso a análise permite também que a concentração do elemento seja quantificada. Para introduzir o estudo da espectrofotometria, vamos estudar a seguinte situação-problema: você, como engenheiro agrônomo, foi contratado para interpretar análises de solo e de tecidos vegetais para planejar operações de correção do solo e adubações foliares, dando continuidade ao atendimento da empresa rural que o contratou para orientar na produção de hortaliças no sistema agroecológico.

Após alguns meses, você retornou para a área de cultivo de tomate, em que os sintomas observados agora eram: clorose internerval verde-clara e amarelada associada a pontos necróticos em folhas novas, com crescimento reduzido das plantas, bastante parecido com doenças viróticas. Solicitou-se então a análise de solo, pois os sintomas poderiam ser de deficiência nutricional. Avaliaram-se também o ataque de pragas e doenças. A adubação havia atendido às necessidades da cultura e as hipóteses de virose e pragas também foram descartadas. Entretanto, os sintomas são típicos de deficiência de manganês. Dessa forma, você questionou: o que pode ter causado essa deficiência? Qual método de determinação quali-quantitativa poderia ser usado? Como planejar uma estratégia de mitigação do problema?

No decorrer desta seção, vamos estudar sobre o funcionamento do espectrofotômetro, a construção de curva de calibração, volumetria de ácido-base, oxirredução e precipitação, além de outros tópicos relevantes. Vamos começar?

Para que seja possível obter produções agrícolas satisfatórias, é necessário conhecer as reais necessidades nutricionais de uma cultura. Para isso é importante que sejam determinados os teores de nutrientes nas amostras de solo e de tecidos vegetais. A partir dessa determinação será possível apontar as necessidades nutricionais que devem ser supridas, por meio de fertilizantes minerais e orgânicos.

Uma das técnicas mais importantes e utilizadas para esse tipo de análise química é a espectrofotometria de absorção atômica. Essa técnica analítica é capaz de determinar a presença de micronutrientes em amostras de solo, limitada à determinação de um elemento por vez, além de requerer uma coleção de lâmpadas (normalmente, uma para cada analito), tais como: Zn, Cu, Fe e Mn.

A extração desses nutrientes é feita utilizando-se a solução extratora de Mehlich (HCl 0,05M + H₂SO₄ 0,0125M). Por meio desta é possível também determinar a presença de macronutrientes, como: nitrogênio (N), o fósforo (P), o potássio (K), o cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e o enxofre (S). Os espectros de absorção obtidos são característicos das espécies químicas, sendo possível a identificação de uma espécie química por seu “espectro de absorção” (ANVISA, 2010).

A espectrofotometria é uma técnica fundamentada na absorção de radiação eletromagnética pelas moléculas. Essa absorção é dependente da conformidade, estrutura e concentração do tipo de material presente. Existe uma divisão da espectrofotometria de absorção atômica que é baseada no intervalo de frequência da energia eletromagnética aplicada. Desta forma, é possível dividir este processo em ultravioleta, visível e infravermelho, utilizada como técnica de identificação e quantificação de substâncias. As faixas de comprimento de onda de energia eletromagnética de interesse para a espectrofotometria são as descritas no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 | Faixas de comprimento de onda de interesse para a espectrofotometria

Região	Faixa de comprimento de onda
Ultravioleta (UV)	190 – 380 nm
Visível (VIS)	380 – 780 nm
Infravermelho próximo (NIR)	780 – 2500 nm (12800 – 4000 cm ⁻¹)
Infravermelho médio (MIR)	4 – 25 μm (2500 – 400 cm ⁻¹)
Infravermelho distante	25 – 300 μm (400 – 33 cm ⁻¹)

Fonte: adaptado Anvisa (2001, [s.p.]).

A radiação eletromagnética é um tipo de energia que se propaga na forma de ondas, podendo ser subdividida em regiões de comprimento de onda.

Pode ser considerada também como um fluxo de partículas denominadas fótons, também conhecido como quanta. Cada fóton contém uma determinada quantidade de energia, que é proporcional à frequência e inversamente proporcional ao comprimento de onda. O comprimento de onda (λ) é, usualmente, determinado em nanômetros, nm (10^{-9} m), podendo também ser determinado em micrômetros, μm (10^{-6} m), em alguns casos. Para o infravermelho, a radiação eletromagnética pode ser descrita em termos de número de onda e expressa em cm^{-1} .



Vocabulário

Absorbância: é a intensidade da luz com um comprimento de onda específico e que passa por uma amostra (intensidade da luz transmitida); é a intensidade da luz antes que entre na amostra (intensidade da luz incidente). Pode ser também definida como a capacidade intrínseca dos materiais de absorver radiações em frequência específica.

A análise espectrofotométrica quantitativa no UV/VIS por absorção tem como princípio a relação direta existente entre a quantidade de luz absorvida e a concentração da substância, também conhecida como lei de Beer. Quando a concentração (c) é expressa em mol. L^{-1} e o caminho óptico (b) em centímetro, a equação torna-se:

$$A = e.b.c$$

Em que:

A = absorbância, logaritmo do inverso da transmitância ($A = -\log T$)

e = absorvidade molar

T = transmitância

Aspectos gerais de um espectrofotômetro

O equipamento espectrofotômetro é composto de uma fonte de radiação, um atomizador, um monocromador, um detector e pelo sistema que processa os dados. Como fontes de radiação podem ser utilizadas lâmpadas de descarga sem eletrodo ou lâmpadas de cátodo oco e, que emitem radiação de mesmo comprimento de onda que elemento absorve para ser determinado.

O atomizador é formado por um forno de grafite ou uma chama. O monocromador tem como função, separar o comprimento de onda que se deseja. Quando o equipamento é operado, a radiação incide sobre o

monocromador por uma passagem conhecida como fenda estreita. É nesta fenda que a luz se separa em comprimentos de onda, no formato de em uma rede de difração sendo direcionada ao detector, que é um fotomultiplicador responsável por transformar a energia luminosa em corrente elétrica. Esta corrente elétrica sofre uma amplificação para que interpretada por um sistema de leitura. O feixe de luz pode ser do tipo feixe único, feixe duplo ou multicanal.

O espectrofotômetro de feixe único é o mais utilizado no laboratório de análise química de solos, e os ajustes ocorrem da seguinte forma: a transmitância é ajustada em 0%, fechando-se o obturador entre a fonte de radiação e o detector, posteriormente ocorre o ajuste da transmitância em 100%, colocando-se o solvente (branco), no caso água destilada, no caminho ótico, abrindo-se o obturador e variando-se a intensidade da radiação até que o sinal seja de 100% de transmitância. Por último, substitui-se o recipiente com solvente pelo recipiente com a amostra a ser analisada e o percentual de transmitância desta é lido (VINADÉ; VINADÉ, 2005).

Atualmente, a maior parte dos espectrofotômetros apresenta conexão para um microcomputador e programa apropriado, que permite a obtenção dos espectros de absorção das substâncias em meio digital. Seus componentes estão relacionados com a faixa do comprimento de onda, a exatidão e a precisão requeridos para as análises.

Espectrofotômetro no ultravioleta (UV) e visível (VIS)

Os espectrofotômetros que trabalham na região do ultravioleta e visível possuem: fonte de radiação; seletor de comprimento de onda; celas de absorção (cubetas) de quartzo para UV e de vidro ou acrílico para VIS. Servem para a inserção de soluções de amostras no feixe de luz monocromática e uma cubeta ideal deve ter 1 cm, para simplificar os cálculos da expressão da Lei de Beer; detector de radiação e uma unidade de leitura e de processamento de sinal, que são os fototubos, os arranjos de fotodiodos e os dispositivos de transferência de carga.

As lâmpadas mais utilizadas como fonte de radiação na região de UV/VIS são de deutério e tungstênio (radiação de 160 a 380 nm e 320 a 2500 nm, respectivamente).

Espectrofotômetro (MIR) e (NIR)

Os espectrofotômetros utilizados para aquisição de espectros no infravermelho médio e próximo são compostos de: fonte de luz; monocromador ou interferômetro; detector; cubetas convencionais; fibras ópticas, células de transmissão e acessórios para reflexão difusa, permitem a obtenção de

espectros na região compreendida entre 750 a 2500 nm (13300 a 400 cm^{-1}). A espectrofotometria no MIR é um ensaio de identificação capaz de diferenciar substâncias com diferenças estruturais. Das três regiões do infravermelho (próximo, médio e distante), a região compreendida entre 4000 a 400 cm^{-1} (infravermelho médio) é a mais empregada para fins de identificação.

Construção da curva de calibração

As determinações de teores de elementos químicos pela técnica de espectrofotometria de absorção atômica envolvem também a comparação da absorbância da solução avaliada com uma solução referência, em que o conteúdo é conhecido. De forma geral, é utilizada uma solução padrão contendo diferentes concentrações que possuem sua absorbância determinada. As determinações são feitas por comparação com soluções de referência contendo concentrações conhecidas do analito. Essas comparações podem ser efetuadas pelo método de calibração direta (Método I) ou pelo método de adição padrão (Método II). Recomenda-se o Método I, salvo quando especificado.

1. Método de calibração direta (Método I) (adaptado de Anvisa, 2010)

- Prepara-se no mínimo quatro soluções de referência do elemento a ser determinado utilizando a faixa de concentração recomendada pelo fabricante do equipamento para o analito.
- Todos os reagentes empregados no preparo da amostra devem ser igualmente incluídos, nas mesmas concentrações, no preparo das soluções de referência. Após a calibração do equipamento com solvente, introduzir três vezes no atomizador cada uma das soluções de referência e, após a leitura, registrar o resultado.
- Lavar o sistema de introdução da amostra com água após cada operação.
- Traçar a curva analítica para a média das absorbâncias das três leituras para cada solução referência, com a respectiva concentração. Preparar a amostra conforme indicado ajustando sua concentração para que essa situe-se na faixa de concentração das soluções de referência para o analito.
- Introduzir a amostra no atomizador, registrar a leitura e lavar o sistema de introdução da amostra com água. Repetir essa sequência duas vezes.
- No final é obtido o fator F_p , que é o coeficiente angular da reta obtida grafando-se os valores de concentração do analito dos padrões no

eixo das abcissas e as respectivas leituras no eixo das ordenadas.

2. Método de adição padrão (Método II)

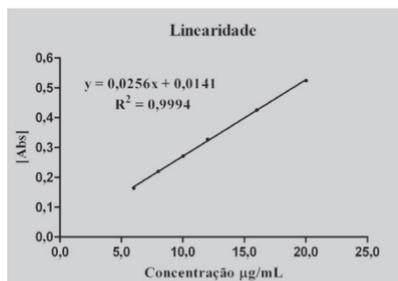
- Adicionar a, no mínimo, quatro balões volumétricos volumes iguais da solução da substância a ser determinada, preparada conforme indicado.
- Aos balões, exceto em um, adicionar volumes determinados da solução de referência especificada, de modo a obter uma série de soluções contendo quantidades crescentes do analito.
- Completar o volume de cada balão com água. Após calibrar o espectrômetro com água, registrar três vezes as leituras de cada solução.
- Traçar a curva analítica para a média das absorbâncias das três leituras para cada solução versus a respectiva quantidade do analito adicionada à solução.
- Registrar a quantidade do analito em módulo na amostra por extrapolação da curva analítica no eixo das abcissas.
- No final é obtido o fator F_p , que é o coeficiente angular da reta obtida grafando-se os valores de concentração do analito dos padrões no eixo das abcissas e as respectivas leituras no eixo das ordenadas. A partir dos valores de absorbância e de concentração, já definidos, pode-se então plotar no gráfico, que por sua vez é conhecido como curva padrão.



Exemplificando

Em um laboratório de análises de solo é fundamental que se conheça um pouco dos equipamentos utilizados nas análises de rotina. O espectrofotômetro de chama, por exemplo, é um dos equipamentos mais utilizados para análise de magnésio em uma amostra.

Figura 4.3 | Curva de calibração para espectrofotometria UV/VIS



Fonte: adaptada de Peixoto Sobrinho et al. (2008, p. 686).

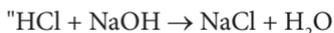
Conceito de Volumetria

Volumetria é uma técnica de análise química quantitativa na qual o volume de um reagente necessário para reagir com um analito é medido. Em uma titulação volumétrica, o titulante (reagente) é adicionado ao titulado (solução contendo o analito) até que ocorra uma reação completa. Essa reação normalmente é marcada por uma alteração de cor na solução. Esse momento é conhecido como ponto de equivalência.

Volumetria de ácido-base

A técnica de titulação ácido-base é bastante utilizada para a análise quantitativa. Consiste no uso de uma reação imediata da qual a estequiometria é conhecida, a fim de que a quantidade de uma substância em solução seja medida.

Como exemplo, podemos explicar o princípio de titulação ácido forte/base forte, a reação de neutralização do ácido clorídrico (HCl) com o hidróxido de sódio (NaOH).



A reação do ácido com a base se dá como uma estequiometria de 1:1, ou seja, cada Mol de HCl reage com um Mol de NaOH. Portanto, se a concentração da solução de NaOH é conhecida, sabendo-se o ponto em que NaOH consumiu todo HCl, é possível conhecer a concentração de HCl.

Através dos cálculos de estequiometria é possível quantificar grandezas da solução do solo, tais como o potencial hidrogenônico (pH). Os nutrientes contidos no solo têm sua disponibilidade determinada por vários fatores, entre eles o valor do pH, medida da concentração de íons hidrogênio na solução do solo.

O pH do solo, como já estudamos, é de fundamental importância para a disponibilidade de nutrientes para as culturas. Alguns nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio têm sua disponibilidade aumentada em pH entre 5,0 e 6,5, tornando-se indisponíveis em valores mais altos. Já os micronutrientes cobre, manganês e zinco apresentam maior disponibilidade em pH abaixo de 5,0.

Volumetria de oxirredução

As titulações de oxirredução são definitivas pela passagem de elétrons entre as espécies químicas envolvidas, sendo utilizadas para uma grande variedade de substâncias orgânicas e inorgânicas, inclusive aquelas presentes no solo e tecidos vegetais. A diferença mais significativa entre e as titulações ácido-base é a disponibilidade de muitos titulantes e padrões para a

volumetria de oxirredução (ANVISA, 2010).

Os indicadores utilizados em titulações oxirredução apresentam sensibilidade às mudanças do potencial elétrico de uma determinada solução de titulação. Devido a isso, as curvas das titulações de oxirredução são traçadas baseando-se no potencial do sistema em função do volume do titulante, durante os diferentes pontos de titulação.



Assimile

A aplicação das técnicas espectrofotométricas na Ciência do Solo tem como principal função qualificar e quantificar amostras de solo, de tecidos vegetais, fertilizantes e corretivos.

As reações desse tipo de titulação podem ser classificadas em duas categorias principais:

Reações em que não há participação direta de íons H^+ ou OH^- e reações em que há participação direta de íons H^+ ou OH^- . Existem dois tipos de indicadores visuais utilizados nas reações de oxirredução por volumetria: os indicadores inespecíficos, que respondem somente ao potencial da solução; e os indicadores específicos, que respondem à concentração de uma substância particular em solução.

Os indicadores inespecíficos são reagentes redox, cujas formas oxidadas e reduzidas apresentam cores diferentes. Esses atuam como um segundo oxidante ou redutor na solução e devem ser mais fracos do que o analito para garantir que a sua reação com o titulante só ocorra no fim da titulação. A alteração da coloração resulta da conversão reversível da forma oxidada à reduzida ou vice-versa, a qual ocorre pela variação do potencial do sistema. Como exemplos, podemos citar: fenosafranina, índigo tetrassulfonato, azul de metileno, difenilamina, ácido difenilaminossulfônico, erioglaucina A e ferroína.

Os indicadores específicos são utilizados de acordo com a concentração de um analito (substância a ser analisada) ou de um titulante, e não mais de acordo com o potencial da solução. São denominados como analitos ou titulantes específicos. Como exemplos, podemos citar: íon permanganato e o amido.

Em uma curva de titulação de oxirredução a elevação do potencial em torno do ponto de equivalência aumenta de acordo com o poder oxidante ou redutor do titulante. São indicadores, também, interessantes a velocidade da reação entre o titulante e o analito, a estabilidade e a seletividade do titulante e a disponibilidade de um indicador.

Como exemplo, podemos aplicar este tipo de técnica na análise de solos para determinação do teor de carbono oxidável, apresentado na forma de CO_2 e cátions Fe^{+2} , em amostras de solos, tratadas, respectivamente, com H_2SO_4 a quente e HCl (BACCAN, 2001).

Volumetria de complexação

Um exemplo importante de aplicação dessa técnica é a determinação de CTC (Capacidade de Troca [adsorção] de Cátions). Quanto maior a CTC do solo, maior o número de cátions que esse solo pode reter, o que também é diretamente proporcional a quantidade de cargas negativas.



Refleta

A Capacidade de troca catiônica (CTC) é uma característica do solo, diretamente, ligada à fertilidade de um solo. A volumetria de precipitação é uma técnica que utiliza a formação de um complexo colorido entre o analito e o titulante, utilizado para definir o ponto final da titulação. Esse tipo de determinação é útil para determinação de íons metálicos em solução.

Para a análise de Ca e Mg trocáveis, estes são primeiramente extraídos da amostra, utilizando-se solução de KCl 1N; ao mesmo tempo, o Al trocável que também é extraído e está presente na solução é titulado com NaOH , na presença de azul de bromotimol como indicador. Nessa mesma fração, é feita a neutralização com ácido ascórbico e, posteriormente, a determinação do cálcio e magnésio trocáveis por compleximetria com EDTA, usando com indicador o negro de eriocromo T.

Sem medo de errar

Agora que você conheceu mais alguns dos conceitos sobre o funcionamento da análise de espectrofotometria, está na hora de colocar seu aprendizado em prática! Na situação-problema desta seção, você deve solucionar os seguintes questionamentos: o que pode ter causado essa deficiência? Qual método de determinação quali-quantitativa poderia ser usado? Como planejar uma estratégia de mitigação do problema? Lembrando que, nesse caso, a análise de solo estava adequada e também não havia sintomas de ataque de pragas ou de manifestação de doenças. Suspeita-se, pela diagnose visual realizada, de uma deficiência de manganês nas plantas. Por meio da análise de técnicas espectrofotométricas realizadas nas folhas das plantas de tomate seria possível qualificar e quantificar o manganês presente nelas, confirmando, ou não, a deficiência.

Para resolver o problema, seria necessário conhecer o emprego de técnicas espectrofotométricas capazes de, analiticamente, determinar a concentração dos nutrientes presentes nos tecidos vegetais das plantas.



Atenção

A deficiência de nutrientes nas plantas pode ser determinada pelo método de diagnose visual, desde que se conheça a cultura trabalhada e os sintomas típicos de cada desequilíbrio nutricional. Entretanto, para que se possa quantificar um determinado nutriente em uma amostra de tecido vegetal, é necessário que sejam realizadas análises laboratoriais.

A concentração de um elemento em uma solução analisada por espectrofotometria é feita com base na comparação com um padrão, no qual a concentração é conhecida. A partir dos pontos de concentração e valores de absorbância definidos é possível traçar uma curva padrão, que indica a proporcionalidade do aumento da concentração e da absorbância e a porção que define o limite de sensibilidade do método ao soluto analisado.

Após a constatação do problema, é necessário que este seja sanado. As plantas de tomate apresentam deficiência de manganês muito provavelmente porque não receberam a quantidade suficiente deste nutriente durante a aplicação dos fertilizantes. É importante lembrar que a área de produção se encontrava sob sistema de cultivo agroecológico. Portanto, não existia aplicação de fertilizantes formulados que, normalmente, contêm manganês. Também não eram utilizados agrotóxicos foliares, que são a principal fonte de manganês para a cultura do tomate. Dessa maneira, a deficiência desse nutriente, pouco comum na cultura, pode ser observada. A solução mais viável é a aplicação de algum fertilizante que contenha manganês e que seja permitido no sistema agroecológico.

Para concluir seu trabalho na empresa agrícola, agora você deve elaborar seu relatório técnico contendo as observações realizadas, os problemas identificados e as ações a serem tomadas em cada cultura! Mãos à obra

Avançando na prática

Análise de espectrofotometria

Descrição da situação-problema

Você, como agrônomo especialista em nutrição mineral e fertilidade do solo, foi contratado por um grupo de investidores de café. Seu trabalho é auxiliá-los a encontrar os melhores lotes de grãos de café, de diferentes bebidas e regiões do Brasil, baseando-se na fertilidade dos solos das propriedades e na nutrição mineral das plantas.

Em seu primeiro encontro com os contratantes foi solicitado que você elaborasse uma estratégia para identificar os produtores que apresentassem lavouras mais saudáveis e que fossem capazes de produzir boas safras de café a custos mais baixos. Que tipo de metodologia você poderia adotar para identificar os melhores produtores, de acordo com o padrão estabelecido pelos compradores? Dentre os diversos métodos de diagnósticos, quais você acha que deveriam ser adotados nessa situação?



Lembre-se

A utilização racional de fertilizantes, sejam eles minerais ou orgânicos, é fundamental para que sejam obtidos resultados satisfatórios na agricultura. Para que se alcance o ponto máximo de produtividade econômica, deve-se pensar não só em produtividade, mas em qualidade de produto. O acompanhamento da evolução da fertilidade do solo de uma área envolve diversos métodos, diagnósticos e ferramentas de análise. Uma dessas ferramentas é a análise espectrofotométrica.

Resolução da situação-problema

Os métodos anteriormente estudados para diagnose visual, diagnose foliar e análise de solos são fundamentais para que seja estabelecido um panorama da fertilidade do solo das áreas produtoras de café. É importante que sejam utilizados os métodos espectrofotométricos estudados para analisar tanto a fertilidade do solo da área como dos tecidos vegetais das plantas produzidas.

Nessa situação podem ser realizadas, além de análises foliares, as análises espectrofotométricas dos frutos e flores de café. Por meio desse tipo de avaliação é possível quantificar e qualificar os nutrientes presentes nesses tecidos e, com esses dados, julgar as lavouras melhor nutridas e com maior potencial produtivo.

Faça valer a pena

1. As técnicas espectrofotométricas são importantes para que sejam determinadas as características químicas de fertilizantes minerais. Essas características são relevantes para a tomada de decisão sobre a escolha de um produto e sobre a dosagem de fertilizante que deve ser aplicada no solo.

Assinale a alternativa que melhor representa o conceito de espectrofotometria.

- a) Técnica de determinação analítica por meio da utilização da luz para identificar e medir as concentrações de uma determinada solução.
- b) Técnica de determinação analítica por meio da utilização da fotointerpretação para identificar e medir as concentrações de uma determinada solução.

- c) Técnica de determinação analítica por meio da utilização da diagnose visual para identificar e medir as concentrações de uma determinada solução.
- d) Técnica de determinação analítica por meio da utilização da embebição do órgão vegetal em solução aquosa para identificar e medir as concentrações de uma determinada solução.
- e) Técnica de determinação visual para identificação e quantificação de uma determinada solução.

2. A espectrofotometria fundamenta-se no conceito de absorvância dos materiais. Por meio da absorvância é possível quantificar e qualificar amostras em soluções. Baseando-se nas informações acima, assinale a opção que melhor representa o conceito de absorvância.

- a) A incidência de luz refletida por um material analisado.
- b) A capacidade dos materiais em transmitir radiações em frequência específica.
- c) A incidência de luz nos materiais, capaz de ser refletida em frequências específicas.
- d) A capacidade intrínseca dos materiais de transmitir radiações.
- e) A capacidade intrínseca dos materiais de absorver radiações em frequência específica.

3. A espectrofotometria é uma técnica analítica que busca identificar e quantificar uma substância baseando-se na característica dualista da luz, que pode se comportar como onda ou como matéria.

Qual das características a seguir é avaliada nas análises fotométricas?

- a) Concentração da substância.
- b) Tipo de luz que a substância reflete.
- c) Espectro da substância.
- d) Peso atômico da substância.
- e) Cor da substância.

- ANVISA. **Farmacopeia brasileira**. Brasília: Anvisa/FIOCRUZ, 2010. 546 p.
- ASSUNÇÃO, D. B.; SILVA, F. A. N. Análises químicas do solo e o controle de qualidade dos laboratórios. **Revista trópica: ciências agrárias e biológicas**, São Luís, v. 6, n. 3, p. 120-136. 2012. Disponível em: <<http://www.periodicoselétronicos.ufma.br/index.php/ccaatropica/article/view/524/2799>>. Acesso em: 12 out. 2016.
- BACCAN, N. et al. **Química analítica quantitativa elementar**. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94 p.
- CAMARGO, M. S. A importância do uso de fertilizantes para o meio ambiente. **Pesquisa & Tecnologia**, São Paulo, v. 9, n. 2, jul./dez. 2012. Disponível em: <<http://www.aptaregional.sp.gov.br/aceesos-artigos-pesquisa-e-tecnologia/edicao-2012/julho-dezembro-2/1317-a-importancia-do-uso-de-fertilizantes-para-o-meio-ambiente/file.html>>. Acesso em: 12 out. 2016.
- DINIZ, E. R. et al. Decomposição e mineralização do nitrogênio proveniente do adubo verde *Crotalaria jucea*. **Científica**, Jaticabal, v. 42, n. 1, p. 51-59, 2014. Disponível em: <<http://www.cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/view/1984-5529.2014v42n1p051-059>>. Acesso em: 12 out. 2016.
- ELOI, W. M.; DUARTE, S. N.; SOARES, T. M. Níveis de salinidade e manejo da fertirrigação sobre características do tomateiro cultivado em ambiente protegido. **Revista brasileira de ciências agrárias**, Recife, v. 2, n. 1, p. 83-89, jan./mar. 2007. Disponível em: <<http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=84&path%5B%5D=74>>. Acesso em: 12 out. 2016.
- FARMACOPÉIA, Comissão Permanente de Revisão Brasileira. **Farmacopéia Brasileira**, Brasília, v. 4, 2010.
- FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: Ufla/Faepe, 2001. 252 p.
- ISHERWOOD, K. E. **Fertilizer Use and the Environment**. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2000.
- LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba: Potafos, 1998.
- LUZ, P. H. C. et al. Otimização da aplicação de corretivos agrícolas e fertilizantes. **Informações agrônomicas**, Piracicaba, n. 129, p. 1-13, mar. 2010. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/909E88E68F51B54883257A90000D5EE0/\\$FILE/Page1-13-129.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/909E88E68F51B54883257A90000D5EE0/$FILE/Page1-13-129.pdf)>. Acesso em: 12 out. 2016.
- PEIXOTO SOBRINHO, T. J. S. et al. Validação de metodologia espectrofotométrica para quantificação dos flavonoides de *Bauhinia cheilantha* (Bongard) Steudel. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 44, n. 4, p. 683-689, out./dez. 2008.
- RODRIGUES L. N. **Espectroscopia por FTIR de variedades híbridas de bagaço de cana-de-açúcar pré-tratados para a produção de etanol celulósico**. 2012. Dissertação (Mestrado em Física)-Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. 2012.
- SILVA, A. de A. et al. Mapas de fertilidade de solo em área manejada com agricultura de precisão cultivada com café. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Uberlândia, v. 5, n. 1, 2014.
- VINADÉ, M. E. C.; VINADÉ, E. R. C. **Métodos espectroscópicos de análise quantitativa**. Santa Maria: UFSM, 2005. 272 p.

