

MANUAL INTERNACIONAL DE FERTILIDADE DO SOLO

2ª edição, revisada e ampliada



Associação Brasileira para Pesquisa da
Potassa e do Fosfato



MANUAL INTERNACIONAL DE FERTILIDADE DO SOLO

2ª edição, revisada e ampliada

Conhecer a fertilidade do solo
é conhecer a solução para a sobrevivência
do homem neste planeta



MANUAL INTERNACIONAL DE FERTILIDADE DO SOLO

2ª edição, revisada e ampliada

Tradução e adaptação do original em inglês
International Soil Fertility Manual
publicado pelo Potash & Phosphate Institute (PPI), EUA, em 1995,
por Alfredo Scheid Lopes
Engº Agrº, MSc, PhD em Fertilidade do Solo
Professor Emérito do Deptº de Ciência do Solo,
Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, e
Consultor Técnico da ANDA, São Paulo, SP



Publicado por

Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato

Rua Alfredo Guedes nº 1949 - 7º andar - sala 701 13416-900 Piracicaba-SP - Brasil

Normatização, revisão e editoração eletrônica: Eng^a Agr^a Silvia Regina Stipp e Abdalla

Arte (desenhos): Wilson Jonas Silveira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO – Campus “Luiz de Queiroz”/USP

Instituto da Potassa & Fosfato.

Manual internacional de fertilidade do solo / Tradução e adaptação de Alfredo Scheid Lopes. - - 2 ed., rev. e ampl. - - Piracicaba : POTAFOS, 1998.
177 p. : il.

1. Fertilidade do solo I. Lopes, Alfredo Scheid II. Título

CDD 631.42

É permitida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios de reprodução desde que seja citada a fonte.

IMPRESSO NO BRASIL
PRINTED IN BRAZIL

APRESENTAÇÃO

A primeira edição deste manual foi publicada pelo Potash & Phosphate Institute em 1978, na sua versão original em Inglês. Devido a grande procura pela comunidade agrônômica da América Latina ele foi também publicado nas versões Espanhol e Português.

Com a crescente demanda de informações nas diferentes regiões do mundo abrangidas pelo programa internacional dos Institutos da Potassa e do Fosfato dos EUA e do Canadá (PPI/PPIC), decidiu-se então elaborar uma nova edição, enfatizando respostas aos nutrientes obtidas em locais distintos dos citados na versão original. O esforço conjunto da equipe internacional do PPI/PPIC permitiu a elaboração do Manual Internacional de Fertilidade do Solo, no idioma Inglês, dentro deste novo enfoque.

A presente publicação é o resultado da excelente tradução do texto original para a língua portuguesa feita pelo Dr. Alfredo Scheid Lopes, Professor Emérito do Departamento de Ciência do Solo, da Universidade Federal de Lavras. Além das adaptações às nossas condições de clima e solo, Prof. Lopes incluiu notas explicativas, novos conceitos visuais e apêndice com definições de conceitos, níveis de fertilidade do solo e tabelas caracterizando os fertilizantes e calcários de acordo com a legislação vigente no país.

Espero que a aplicação inteligente dos ensinamentos contidos neste manual venha permitir melhores condições de competitividade aos agricultores brasileiros dentro da economia globalizada.

Piracicaba, 21 de Dezembro de 1998

Tsuioshi Yamada, diretor
POTAFOS

ÍNDICE

	PÁGINA
<u>CAPÍTULO 1</u>	
Conceitos sobre Fertilidade do Solo e Produtividade	1
<u>CAPÍTULO 2</u>	
Reação do Solo e Calagem	23
<u>CAPÍTULO 3</u>	
Nitrogênio	37
<u>CAPÍTULO 4</u>	
Fósforo	51
<u>CAPÍTULO 5</u>	
Potássio	67
<u>CAPÍTULO 6</u>	
Os Nutrientes Secundários	79
<u>CAPÍTULO 7</u>	
Os Micronutrientes	89
<u>CAPÍTULO 8</u>	
Análise de Solo, Análise Foliar e Técnicas de Diagnose	103
<u>CAPÍTULO 9</u>	
Aspectos Econômicos e outros Benefícios da Adubação	119
<u>CAPÍTULO 10</u>	
Nutrientes de Plantas e o Ambiente	135
<u>GLOSSÁRIO</u>	145
<u>ANEXOS</u>	155
<u>LITERATURA CONSULTADA</u>	177

CONCEITOS SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE

	Página
• Introdução	1
• Nutrientes essenciais para as plantas	2
• Textura e estrutura do solo	2
• Colóides e íons do solo	8
• Capacidade de troca de cátions	9
• Retenção de ânions no solo	9
• Matéria orgânica do solo	13
• Profundidade do solo	17
• Declividade	17
• Organismos do solo	17
• Equilíbrio de nutrientes	17
• Resumo	19
• Perguntas de revisão	20

INTRODUÇÃO

SOLOS SÃO o meio no qual as culturas desenvolvem-se para alimentar e abrigar o mundo. Entender a fertilidade do solo é compreender a necessidade básica para a produção vegetal⁽¹⁾ (ver Conceito de Produção 1-1).

• Como um agricultor pode fazer com que suas culturas produzam de modo eficiente e competitivo sem solos férteis?

• Como os extensionistas agrícolas podem ajudar os agricultores e dar-lhes informações técnicas sem a compreensão da fertilidade do solo?

A fertilidade é vital para a produtividade, mas um solo fértil não é necessariamente um solo produtivo. A má drenagem, os insetos, a seca e outros fatores podem limitar a produção, mesmo quando a fertilidade é adequada. Para compreendermos completamente a fertilidade do solo precisamos conhecer também os outros fatores que favorecem, ou limitam, a produtividade.

Para compreender a produtividade do solo é preciso reconhecer as relações solo-planta existentes. Certos fatores externos controlam o crescimento das plantas: ar, calor (temperatura), luz, suporte mecânico, nutrientes e água. A planta depende do solo, pelo menos em parte, para a obtenção de todos estes fatores, com exceção da luz. Cada um desses fatores afeta diretamente o crescimento da planta e está relacionado aos demais (ver Conceito de Produção 1-2).

Uma vez que a água e o ar ocupam os espaços porosos do solo, os fatores que afetam as relações hídricas necessariamente influenciam o arejamento. Isto faz com que as mudanças no teor de umidade afetem a temperatura do solo. A disponibilidade de nutrientes é influenciada pelo balanço entre solo e água, assim como pela temperatura do solo. O crescimento das raízes também é influenciado pela temperatura do solo, bem como pela quantidade de água e pela aeração.

A fertilidade do solo, na agricultura moderna, é uma parte de um sistema dinâmico. Os nutrientes estão sendo constantemente “exportados” na forma de produtos

⁽¹⁾ O conceito de solo é mais abrangente pois inclui, ainda, o meio para a produção de energia renovável (álcool, por exemplo) e moradia (madeira para construção, etc.).

de plantas e animais. Infelizmente, outros podem ser perdidos por lixiviação e erosão. Além disso, outros, como o fósforo (P) e o potássio (K), podem ser retidos por certos tipos de argila do solo. A matéria orgânica e os microrganismos do solo imobilizam e depois liberam os nutrientes através do tempo. Se o processo produtivo da agricultura fosse um sistema fechado, o balanço nutricional poderia ser relativamente estável. Isto não ocorre assim, entretanto, e é por isto que é essencial compreender os princípios de fertilidade do solo para uma produção eficiente das culturas e para a proteção ambiental.

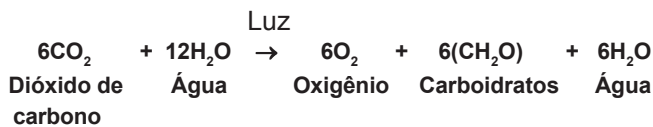
- As seções seguintes deste capítulo abordam as características do solo que influenciam o crescimento das plantas. Os nutrientes essenciais para as plantas também são enumerados e classificados em categorias.

- Os capítulos seguintes deste manual caracterizam cada nutriente das plantas – incluindo a quantidade removida pelas culturas bem produtivas, seu papel no crescimento das plantas, seus sintomas de deficiência, suas relações no solo, os fertilizantes que os contêm e os impactos no ambiente.

NUTRIENTES ESSENCIAIS PARA AS PLANTAS

Dezesseis elementos químicos são chamados essenciais para o crescimento das plantas. Eles são divididos em dois grupos principais: os não-minerais e os minerais.

Os **nutrientes não-minerais** são o carbono (C), o hidrogênio (H) e o oxigênio (O). Estes nutrientes são encontrados na atmosfera e na água e participam da fotossíntese da seguinte maneira:



Os produtos da fotossíntese são responsáveis pela maior parte do crescimento das plantas. Quantidades insuficientes de dióxido de carbono, água ou luz reduzem o crescimento. A quantidade de água usada na fotossíntese é tão pequena que as plantas mostrarão deficiência hídrica antes do teor de umidade ser suficientemente baixo para afetar a velocidade da fotossíntese (ver Conceito de Produção 1-2).

Os **treze nutrientes minerais**, que são fornecidos pelo solo, estão divididos em três grupos — primários, secundários e micronutrientes⁽¹⁾:

Nutrientes primários	Micronutrientes
Nitrogênio (N)	Boro (B)
Fósforo (P)	Cloro (Cl)
Potássio (K)	Cobre (Cu)
	Ferro (Fe)
Nutrientes secundários	Manganês (Mn)
Cálcio (Ca)	Molibdênio (Mo)
Magnésio (Mg)	Zinco (Zn)
Enxofre (S)	

Cinco nutrientes adicionais — sódio (Na), cobalto (Co), vanádio (V), níquel (Ni) e silício (Si) — têm sido considerados como essenciais para algumas plantas. Estes cinco micronutrientes quase nunca são deficientes em solos.

Os **nutrientes primários** geralmente tornam-se deficientes no solo antes dos demais, porque as plantas os usam em quantidades relativamente grandes. Os **nutrientes secundários** e os **micronutrientes** são geralmente menos deficientes e usados em quantidades menores. Mas eles são **tão importantes** quanto os nutrientes primários para uma adequada fertilidade do solo. As plantas precisam tê-los à disposição quando e onde necessário⁽²⁾.

TEXTURA E ESTRUTURA DO SOLO

A textura do solo é determinada pela quantidade de areia, silte e argila que ele possui. Quanto menor o tamanho das partículas, mais próximas da muito argilosa e quanto maior o tamanho das partículas, mais próxima da arenosa estará a textura. Por exemplo:

- Um solo com alto teor de areia é classificado como de textura areia;
- Quando pequenas quantidades de silte ou argila estão presentes, o solo torna-se de textura areia franca ou franca-arenosa;
- Os solos com predominância de argila são classificados como argiloso ou muito argiloso;
- Quando a areia, o silte e a argila estão presentes em proporções mais ou menos iguais, o solo é classificado como tendo textura franca ou barrenta.

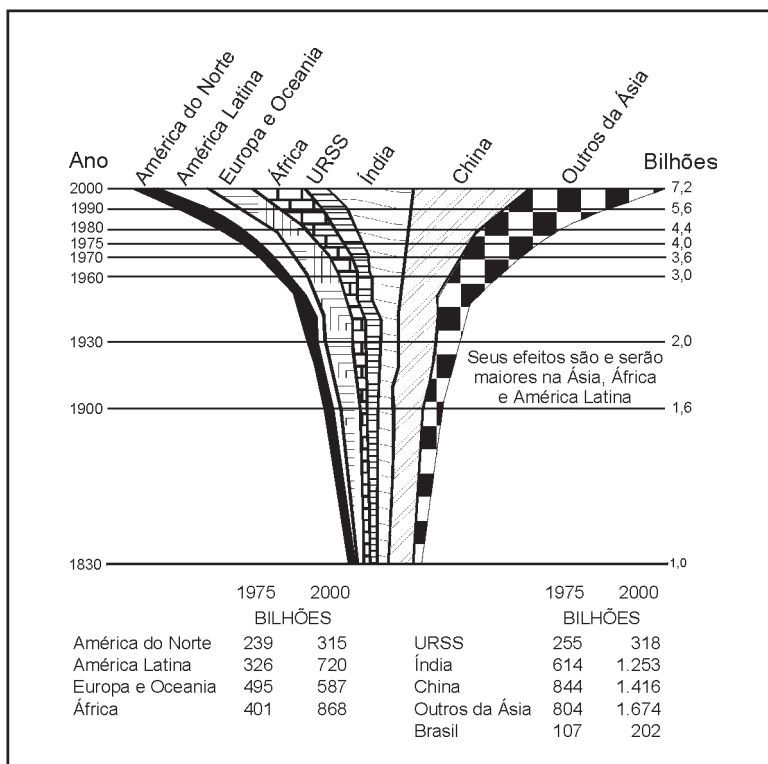
As 12 classes texturais para solos são mostradas na Figura 1-1. Uma simplificação, em uso no Brasil, é mostrada na Figura 1-2.

⁽¹⁾ Embora o silício (Si) não seja considerado como elemento essencial fisiologicamente, é um elemento essencial sob os aspectos agrônômicos, notadamente para as gramíneas. O cobalto (Co) é considerado um nutriente essencial para as leguminosas por ser indispensável ao *Rhizobium*, microrganismo responsável pela fixação biológica do nitrogênio.

⁽²⁾ Atualmente, as deficiências de macronutrientes secundários, especialmente enxofre e magnésio, têm ocorrido com frequência, devido à maior exportação dos mesmos com o aumento das produções, e também com o uso de adubos concentrados em N, P e K, que não contêm S e Mg como “impurezas”.

CONCEITO DE PRODUÇÃO 1-1

A EXPLOSÃO POPULACIONAL



A humanidade levou 1.830 anos para atingir o 1º bilhão de habitantes, 100 anos para o 2º bilhão, 30 anos para o 3º bilhão e, no ano 2000, a expectativa é de 7,2 bilhões de pessoas na face da Terra.

Esta previsão foi estabelecida em 1975. Dados da FAO mais recentes estimam para o ano 2025 uma população de 8,3 bilhões na face da Terra.

Para atender à crescente demanda da produção de alimentos, especialistas da FAO estimam que é preciso: a) **aumentar** em 60% a **produtividade** das culturas nos países em desenvolvimento e b) **incorporar** cerca de 200 milhões de novos **hectares** ao processo produtivo, principalmente na região tropical do globo.

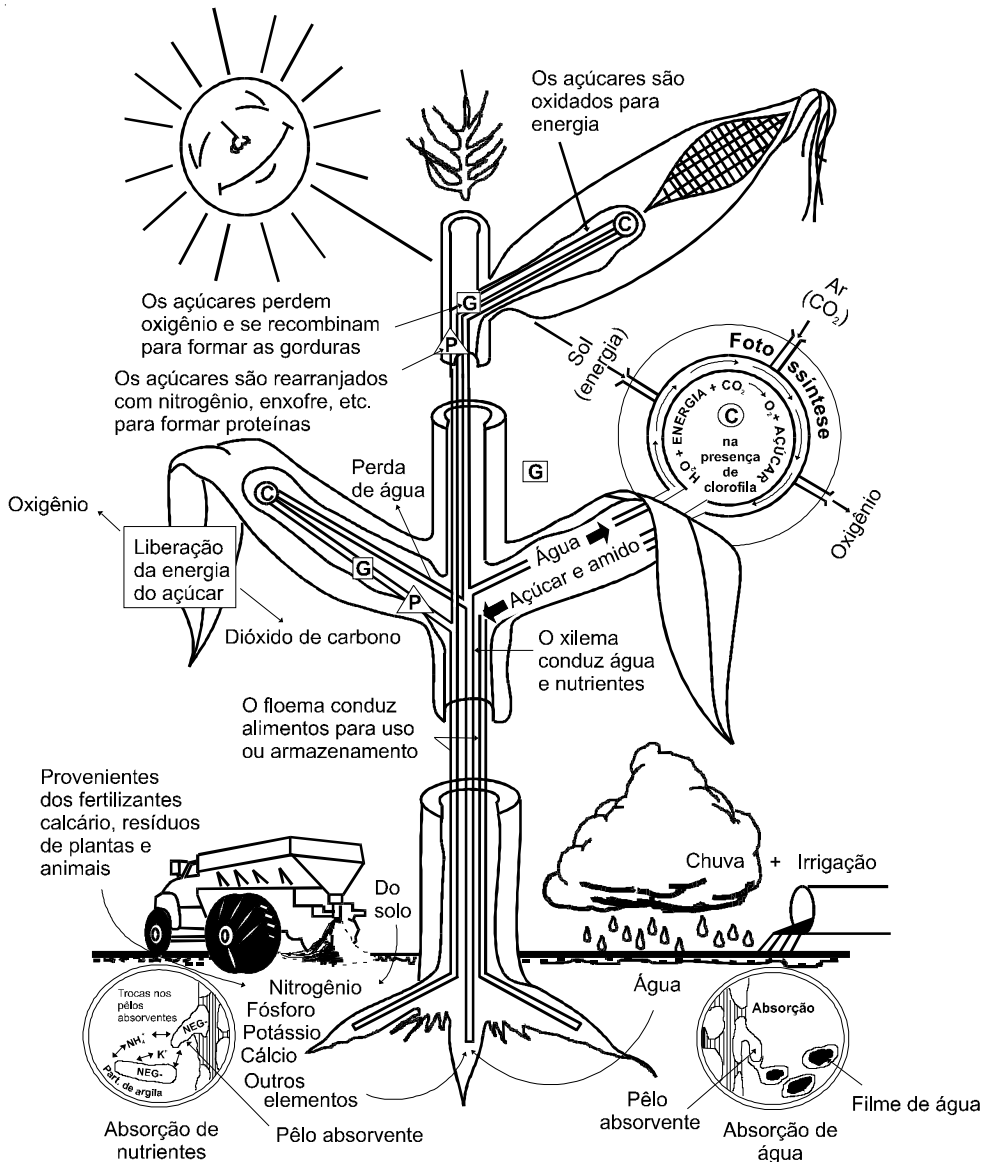
O caso do Brasil não é exceção, com uma taxa de crescimento anual de 2,47%, o que significa a duplicação da população a cada 27,9 anos, implicando uma previsão de 202 milhões de habitantes no ano 2000.

Se, por um lado, a situação brasileira é também preocupante quanto ao aumento da população, possivelmente nenhum país tropical tem tantas perspectivas positivas de aumento da produtividade das culturas e de expansão da área cultivada para a produção de alimentos, tanto para o consumo interno como para produzir excedentes exportáveis, como o Brasil.

**PARA QUE OS OBJETIVOS DA AGRICULTURA BRASILEIRA SEJAM ATINGIDOS,
É FUNDAMENTAL O USO EFICIENTE DE CORRETIVOS AGRÍCOLAS E FERTILIZANTES**

CONCEITO DE PRODUÇÃO 1-2

FOTOSSÍNTESE — O MILAGRE DA NATUREZA



ESTE MODELO mostra como a planta usa a água e os nutrientes do solo e o oxigênio do ar para fabricar carboidratos (C), gorduras (G) e proteínas (P). Quanto mais ela puder fabricar, mais alimentos ou fibras ela irá produzir.

O homem ajuda a natureza, neste processo, de três maneiras: (1) pelo fornecimento de mais nitrogênio, fósforo, potássio, calcário e outros nutrientes necessários para assegurar o suprimento adequado para a obtenção de produções ótimas; (2) pelo controle da umidade através da irrigação e/ou drenagem ou de práticas que racionalizem o uso da água; (3) por meio do preparo adequado e de práticas de manejo que deixem o meio ambiente o melhor possível para o crescimento.

Cabe aqui lembrar a Lei do Mínimo, que enfatiza a importância de todos os nutrientes essenciais, sem exceção (Conceito de Produção 1-3).



Figura 1-1. Classes texturais para solos de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

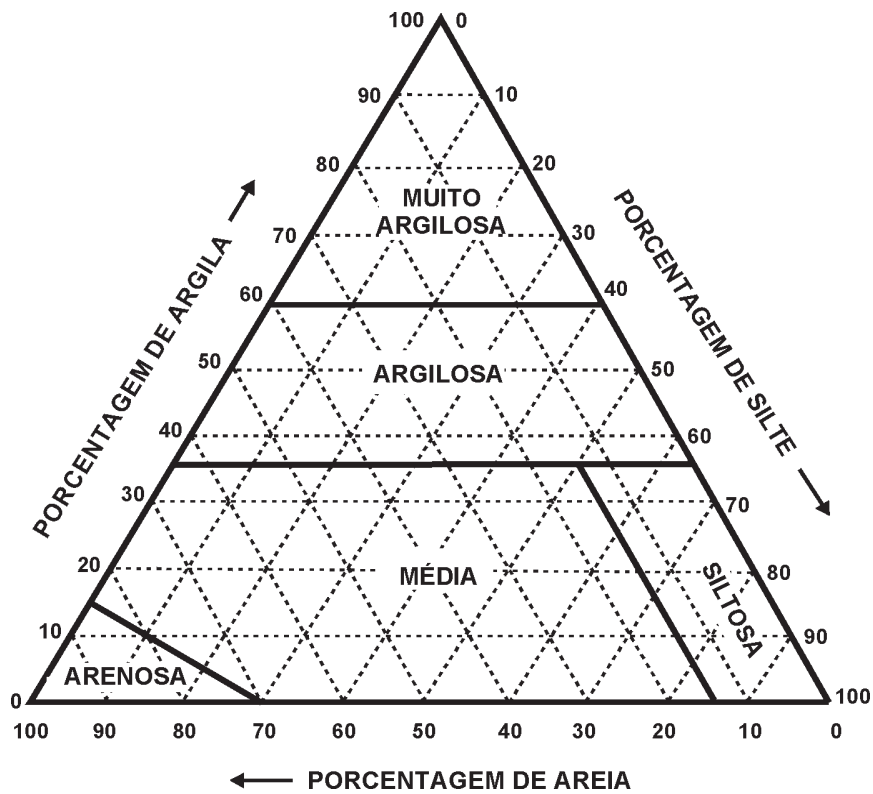
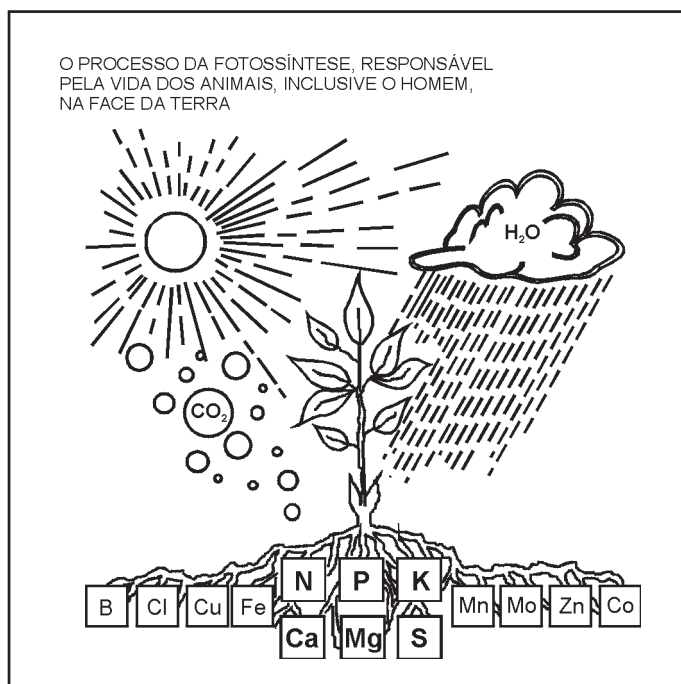


Figura 1-2. Versão simplificada das classes texturais para solos.

CONCEITO DE PRODUÇÃO 1-3

A LEI DO MÍNIMO: A BASE DA PRODUTIVIDADE

“O rendimento de uma colheita é limitado pela ausência de **qualquer um** dos nutrientes essenciais, mesmo que todos os demais estejam disponíveis em quantidades adequadas”.



Os nutrientes minerais, que em geral são fornecidos à planta pelo solo e complementados pelo uso de calcário, adubação orgânica e adubação mineral, são mostrados na figura ao lado.

Nutrientes primários

Nitrogênio (N)
Fósforo (P)
Potássio (K)

Nutrientes secundários

Cálcio (Ca)
Magnésio (Mg)
Enxofre (S)

Micronutrientes

Boro (B)
Cloro (Cl)
Cobre (Cu)
Ferro (Fe)
Manganês (Mn)
Molibdênio (Mo)
Zinco (Zn)

A função de uma agricultura desenvolvida é colaborar com a natureza, que fornece gratuitamente o gás carbônico (CO_2), a água (H_2O) e a energia solar necessários ao processo de **FOTOSÍNTESE**.

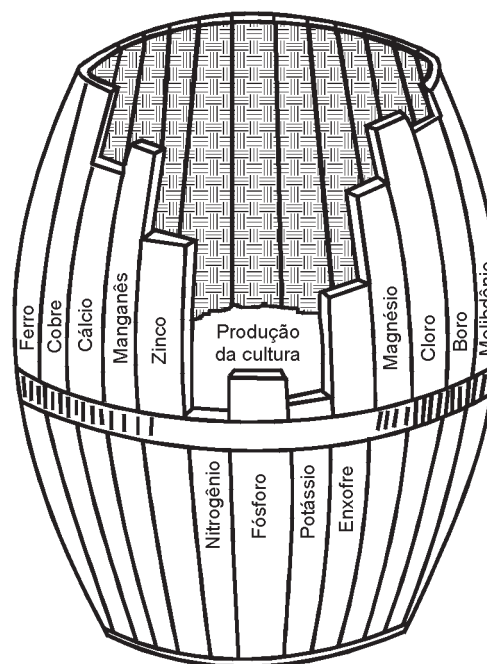
Mas a **Lei do Mínimo** não pode ser esquecida.

Para entendermos esse conceito, vejamos a figura ao lado.

Cada tábua do barril representa um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Neste exemplo, se um solo deficiente em NPK for corrigido pela adubação com esses nutrientes, a deficiência de S passará a ser o próximo fator limitante. Se as deficiências de NPK e S forem corrigidas, a de Zn tornar-se-á a próxima limitante, e assim sucessivamente.

Em resumo: **A produção das culturas é limitada pelo nutriente mineral menos disponível para as plantas.**



A textura e a estrutura do solo influenciam a quantidade de ar e de água que as plantas em crescimento podem obter. O tamanho das partículas é importante por duas razões:

- As partículas menores, de argila, são mais fortemente unidas do que as partículas maiores, de areia. Isto significa que existem pequenos poros para a água e para o ar;
- As partículas menores apresentam superfícies específicas muito maiores do que as partículas maiores. Por exemplo, a maior partícula de argila tem cerca de 25 vezes mais área de superfície do que a menor partícula de areia. À medida que a área de superfície aumentar, a quantidade de água adsorvida (retida) aumentará.

Conseqüentemente, as areias retêm pouca água, porque seu grande espaço poroso permite a drenagem livre da água dos solos. As argilas adsorvem relativamente grandes quantidades de água, e seus menores espaços porosos a retêm contra as forças da gravidade.

Apesar dos solos argilosos possuírem maior capacidade de retenção de água que os solos arenosos, nem toda esta umidade está disponível para as plantas em crescimento. Os solos argilosos (e aqueles com altos teores de matéria orgânica) retêm mais fortemente a água que os solos arenosos. Isto significa mais água não disponível. Assim sendo, os solos argilosos retêm mais água do que os arenosos, mas a maior parte desta água não é disponível.

O termo “**capacidade de campo**” define a quantidade de água que permanece no solo após cessar o fluxo gravitacional. Ela é expressa em porcentagem de peso⁽¹⁾.

A quantidade de água que um solo ainda contém, após as plantas secarem de modo permanente, é chamada de “**ponto de murcha permanente**”. A água ainda está presente neste ponto, mas é tão fortemente retida que as plantas não têm capacidade para utilizá-la.

A água disponível para as plantas em crescimento é a quantidade que o solo contém entre a **capacidade**

de campo e o **ponto de murcha permanente**. A Figura 1-3 mostra como a água disponível varia de acordo com a textura do solo⁽²⁾.

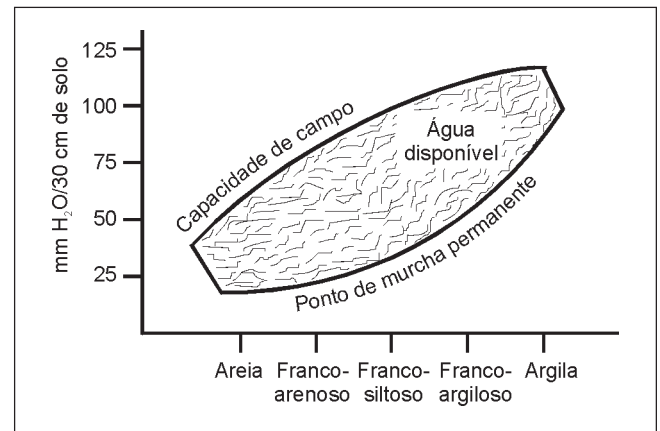


Figura 1-3. Variação na quantidade de água disponível para as plantas em algumas classes texturais de solos.

Os solos arenosos não podem armazenar tanta água quanto os solos argilosos, mas uma maior porcentagem da água que está presente nos solos arenosos está disponível. Conseqüentemente, não existe uma relação constante entre textura do solo e água disponível, como é mostrado na Figura 1-3.

Os solos de textura fina (argila e muito argiloso) são facilmente compactados. Isto reduz o espaço poroso, o que limita o movimento do ar e da água através do solo, causando um grande escoamento superficial das águas da chuva. O déficit hídrico pode tornar-se um problema, mesmo sob fortes chuvas. As argilas são pegajosas quando molhadas e formam torrões duros quando secas. Conseqüentemente, o teor adequado de umidade é extremamente importante quando o solo é preparado para o plantio⁽³⁾.

Os solos arenosos são, por natureza, mais secos, porque retêm pouca água. Eles são soltos, com menor tendência para a compactação do que os argilosos, e fáceis de preparar. Entretanto, os solos que contêm altas proporções de areia muito fina são facilmente compactados.

⁽¹⁾ Muitos solos do Brasil e da região tropical, embora com altos teores de argila, comportam-se, em termos de retenção de água, como solos arenosos. São solos com argilas de baixa atividade (caulinita e sesquióxidos), em geral altamente porosos. Muitos Latossolos sob cerrado apresentam esta característica.

⁽²⁾ O conceito de água disponível é clássico e de natureza estática. Contudo, atualmente, este conceito é concebido como de natureza dinâmica. A maior ou menor quantidade de água disponível dependerá das interações da água dentro do sistema solo-planta-atmosfera.

⁽³⁾ Muitos solos da região tropical, mesmo com altos teores de argila, apresentam excelente agregação e estrutura. Isto é devido à presença de oxi-hidróxidos de ferro e alumínio em teores elevados. Muitos Latossolos brasileiros apresentam excelentes condições de estrutura.

Os solos com alto teor de silte são geralmente os que apresentam a pior estrutura. As partículas se agregam e eles são compactados muito facilmente.

O manejo adequado ajuda a manter ou desenvolver uma boa estrutura no solo. O tamanho e a forma dos grânulos determinam a qualidade da estrutura. A melhor estrutura é aquela em blocos e granular, com as partículas agregadas, para permitir o livre movimento do ar e da água.

A estrutura do solo influencia de modo marcante o crescimento das raízes e da parte aérea. À medida que o solo torna-se mais compacto, a proporção de maiores espaços porosos decresce, o crescimento das raízes diminui e a produção declina.

O solo ideal para a produção das culturas deve possuir as seguintes características:

- Textura franca e teor adequado de matéria orgânica para o movimento da água e do ar;
- Quantidade suficiente de argila para reter a umidade de reserva no solo;
- Subsolo permeável e profundo, com níveis adequados de fertilidade;
- Meio ambiente adequado para as raízes se aprofundarem em busca de umidade e nutrientes.

COLÓIDES E ÍONS DO SOLO

À medida que os solos são formados, durante os processos de intemperização, alguns minerais e a matéria orgânica são reduzidos a partículas extremamente pequenas. As mudanças químicas diminuem ainda mais estas partículas, até o ponto em que elas não podem ser vistas a olho nu. Estas partículas de menor tamanho são chamadas de **colóides**.

Os cientistas aprenderam que os colóides minerais argilosos possuem estrutura semelhante a placas e são de natureza cristalina. Na maioria dos solos, os colóides argilosos excedem em quantidade os colóides orgânicos. Os colóides são os principais responsáveis pela atividade química dos solos.

O tipo de material de origem e o grau de intemperização determinam os tipos de argila presentes no solo. Uma vez que os colóides do solo são derivados destas argilas, sua atividade também é influenciada pelo material de origem e pela intemperização.

Cada colóide (argiloso ou orgânico) apresenta uma carga líquida negativa (-), desenvolvida durante o pro-

cesso de formação. Isto significa que ele pode atrair e reter partículas com carga positiva (+), do mesmo modo que pólos diferentes de um ímã se atraem. Os colóides repelem outras partículas de carga negativa, da mesma forma que pólos idênticos de um ímã se repelem⁽¹⁾.

Um elemento com uma carga elétrica é chamado de **íon**. O potássio, o sódio, o hidrogênio, o cálcio e o magnésio possuem cargas positivas. Eles são chamados de **cátions**, e podem ser escritos na forma iônica, como é mostrado a seguir. Note que alguns cátions possuem mais de uma carga positiva (Tabela 1-1).

Tabela 1-1. Cátions comuns do solo, seus símbolos químicos e formas iônicas.

Cátion	Símbolo químico	Forma iônica
Potássio	K	K ⁺
Sódio	Na	Na ⁺
Hidrogênio	H	H ⁺
Cálcio	Ca	Ca ²⁺
Magnésio	Mg	Mg ²⁺

Os íons com cargas negativas, tais como o nitrato e o sulfato (SO₄²⁻), são chamados de **ânions**. A Tabela 1-2 mostra alguns ânions comuns.

Tabela 1-2. Ânions comuns do solo, seus símbolos químicos e formas iônicas.

Ânion	Símbolo químico	Forma iônica
Cloreto	Cl	Cl ⁻
Nitrato	N	NO ₃ ⁻
Sulfato	S	SO ₄ ²⁻
Fosfato	P	H ₂ PO ₄ ⁻

Os colóides de cargas negativas atraem os cátions e os retêm, como um ímã retém pequenos pedaços de metal. Esta característica dos colóides explica porque o nitrogênio, na forma de nitrato (NO₃⁻), é lixiviado mais facilmente do solo do que o nitrogênio na forma de amônio (NH₄⁺). O nitrato possui uma carga negativa fraca, como os colóides do solo. Assim sendo, o nitrato não é retido pelo solo mas permanece como um íon livre na água do solo, passível de ser lixiviado através do perfil, em alguns solos e sob certas condições de pluviosidade. Este conceito é mostrado na Figura 1-4.

⁽¹⁾ A carga negativa (-) do solo pode ser permanente e variável. A carga variável, que depende do pH do solo, é muito importante para as condições da maioria dos solos brasileiros. Sob estas condições, as únicas formas de aumentar a carga negativa variável e, conseqüentemente, aumentar a capacidade de troca de cátions (CTC), é através da calagem (elevação do pH), manejo adequado dos restos culturais, adubação verde e adubação orgânica.

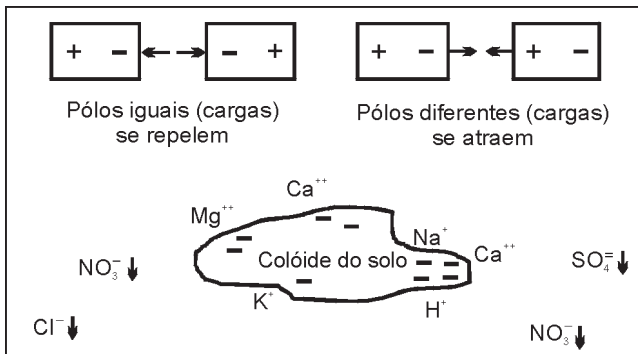


Figura 1-4. Atração dos cátions (cargas positivas) pelos colóides de cargas negativas (argilas e matéria orgânica) existentes no solo; ânions são repelidos.

CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS

(ver Conceitos de Produção 1-4, 1-5 e 1-6)

Os cátions retidos nos colóides do solo podem ser substituídos por outros cátions. Isto significa que eles são **trocáveis**. Por exemplo, o cálcio pode ser trocado por hidrogênio e/ou potássio ou vice-versa. O número total de cátions trocáveis que um solo pode reter (a quantidade de sua carga negativa) é chamada de sua **capacidade de troca de cátions** ou **CTC**. Quanto maior o valor da CTC do solo, maior o número de cátions que ele pode reter.

Os solos diferem na sua capacidade de retenção de K^+ trocável e de outros cátions. A CTC depende da quantidade e do tipo de argila e de matéria orgânica presentes. Por exemplo, um solo com alto teor de argila pode reter mais cátions trocáveis do que um solo com baixo teor de argila. A CTC também aumenta com o aumento no teor de matéria orgânica.

A CTC de um solo é expressa em termos de centimols por decímetro cúbico de solo e é escrita como $cmol_c/dm^3$. Geralmente os minerais de argila apresentam valores de CTC variando entre 10 e $150\text{ }cmol_c/dm^3$. A CTC da matéria orgânica varia de 200 a $400\text{ }cmol_c/dm^3$. Conseqüentemente, o tipo e a quantidade de argila e de matéria orgânica influenciam muito a CTC dos solos⁽¹⁾.

Onde os solos são altamente intemperizados e com baixos teores de matéria orgânica, os valores da CTC

são baixos. Onde ocorreu menos intemperização e os níveis de matéria orgânica são geralmente mais altos, os valores da CTC podem ser bastante altos. Os solos argilosos, com alta CTC, podem reter grandes quantidades de cátions contra o potencial de perda por lixiviação. Os solos arenosos, com baixa CTC, retêm somente pequenas quantidades de cátions⁽²⁾.

Isto faz com que a época e as doses de fertilizantes a serem aplicadas sejam importantes ao se planejar um programa de adubação. Por exemplo, pode não ser aconselhável aplicar potássio em altas doses em solos muito arenosos em climas onde as chuvas podem ser muito intensas e abundantes. A aplicação de fertilizantes, nestas condições, deve ser parcelada para evitar a lixiviação e as perdas por erosão, especialmente nos trópicos úmidos. Além disso, o parcelamento nas aplicações de nitrogênio, o uso de inibidores da nitrificação, e a aplicação em épocas adequadas para atender os picos da demanda das culturas são importantes para diminuir o potencial de lixiviação de nitratos em solos arenosos.

Porcentagem de saturação por bases... a porcentagem da CTC a pH 7,0 ocupada pelos principais cátions ...foi usada no passado para desenvolver programas de adubação. A idéia é que certas relações de nutrientes ou "balanços" são necessários para assegurar absorção adequada e atingir altas produções. As pesquisas têm demonstrado, entretanto, que as amplitudes ou relações de saturação por cátions têm pouca ou nenhuma utilidade na grande maioria dos solos. Sob condições de campo, as amplitudes dessas relações podem apresentar grandes variações sem efeitos deletérios, desde que os níveis dos nutrientes individuais presentes no solo sejam suficientes para atingir o ótimo crescimento das plantas⁽³⁾.

RETENÇÃO DE ÂNIONS NO SOLO

Não existe um mecanismo totalmente definido para explicar a retenção de ânions pelo solo. O nitrato, por exemplo, é completamente móvel e movimenta-se livremente com a água do solo. Sob chuvas excessivas, ele movimenta-se no sentido descendente. Sob condições extremamente secas, ele movimenta-se no sentido ascendente com a umidade do solo, causando seu acúmulo na superfície do solo.

⁽¹⁾ O termo $cmol_c/dm^3$ equivale à expressão $meq/100\text{ }cm^3$ usada no passado. Alguns laboratórios expressam dados de CTC em $mmol_c/dm^3$ que equivale a $10\text{ }x\text{ }cmol_c/dm^3$.

⁽²⁾ Solos com alta CTC, no Brasil, são muito mais uma exceção do que regra. Nestas condições, existe predisposição para as altas taxas de lixiviação, fazendo com que o parcelamento da adubação nitrogenada e, às vezes, da adubação potássica, sejam determinantes para aumentar a eficiência das adubações.

⁽³⁾ A grande maioria dos solos ácidos do Brasil apresenta a CTC com dominância de alumínio (Al^{3+}). Conseqüentemente, nestas condições, a porcentagem de saturação por cálcio, magnésio e potássio é muito baixa. As definições de vários parâmetros ligados à CTC, e sua importância para o manejo da fertilidade do solo, encontram-se no Anexo 1.

CONCEITO DE PRODUÇÃO 1-4

CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC): uma ajuda ao manejo do solo e à aplicação de nutrientes

CÁTIONS são íons ou moléculas de nutrientes com carga positiva: cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), sódio (Na^+), hidrogênio (H^+) e amônio (NH_4^+).

PARTÍCULAS DE ARGILA são constituintes do solo com carga negativa. Estas partículas atraem, seguram e liberam partículas de nutrientes com carga positiva (cátions). As partículas de matéria orgânica também têm carga negativa, para atrair os cátions, de carga positiva. As partículas de areia não apresentam reação.

CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC) é a capacidade do solo para reter e trocar cátions. A energia da carga positiva dos cátions varia, fazendo com que um cátion substitua outro na partícula do solo, que tem carga negativa.

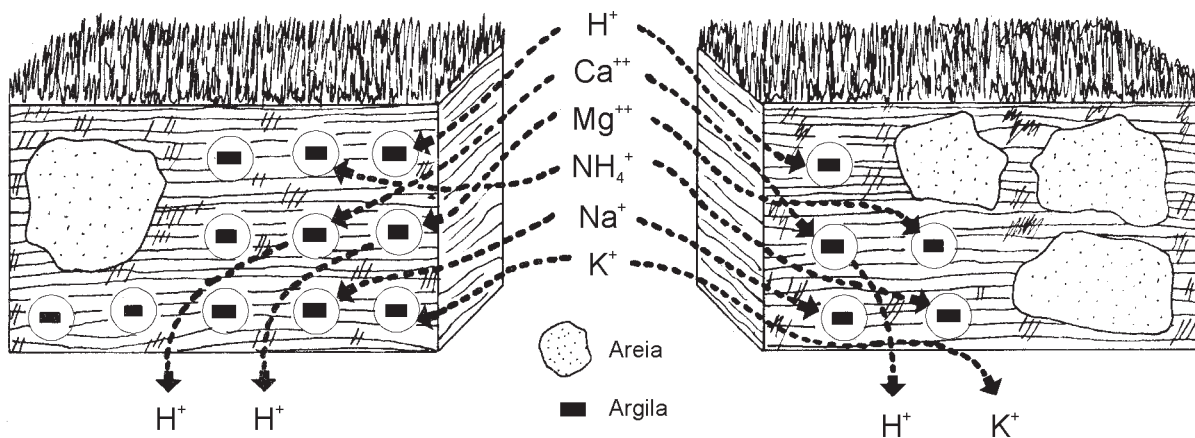
UMA VISÃO ESQUEMÁTICA DA TROCA DE CÁTIONS

CTC 25

MAIOR TEOR DE ARGILA, MAIS POSIÇÕES
PARA RETER CÁTIONS

CTC 5

BAIXO TEOR DE ARGILA, POUCAS POSIÇÕES
PARA RETER CÁTIONS



CTC 50

(Argila pesada)

← AMPLITUDE COMUM DA CTC →

CTC 0

(Areia)

ALGUMAS APLICAÇÕES PRÁTICAS

SOLOS COM CTC ENTRE 11 e 50

- Alto teor de argila
- Mais calcário é necessário para corrigir um dado valor de pH
- Maior capacidade para reter nutrientes a uma certa profundidade do solo
- Características físicas de um solo com alto teor de argila
- Alta capacidade de retenção de água

SOLOS COM CTC ENTRE 1 e 10

- Alto teor de areia
- Maior predisposição para a lixiviação de nitrogênio e potássio
- Menos calcário é necessário para corrigir um dado valor de pH
- Características físicas de um solo com alto teor de areia
- Baixa capacidade de retenção de água

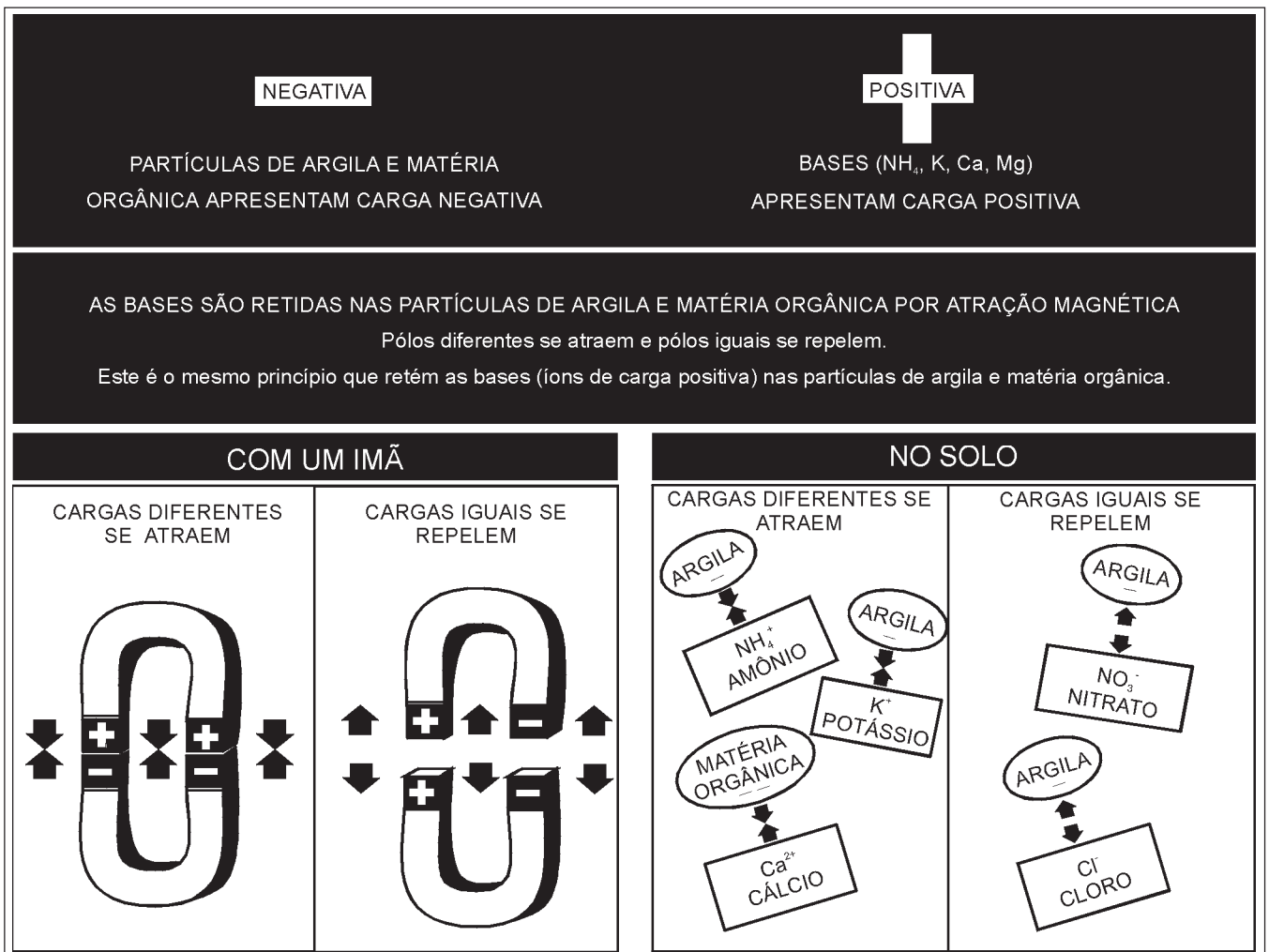
CONCEITO DE PRODUÇÃO 1-5

PARTÍCULAS DE ARGILA E MATÉRIA ORGÂNICA

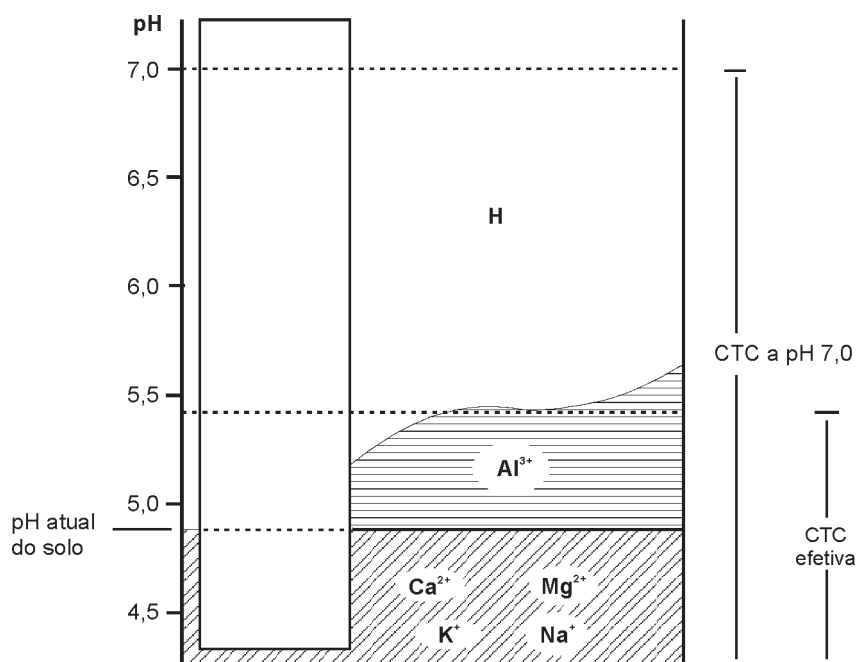
TEXTURA DO SOLO	ARGILA	
	%	g/kg
Areia franca	5	50
Franco-arenoso	10	100
Franco-siltoso	20	200
Franco-argilo-siltoso	30	300
Franco-argiloso	35	350
Argila	50	500
Muito argiloso	70	700

PARA COMPREENDER O COMPORTAMENTO DOS NUTRIENTES no solo nós precisamos compreender o papel das partículas de argila e de matéria orgânica. Todos os solos agrícolas contêm algum teor de argila e de matéria orgânica. Os teores de argila de algumas classes texturais são mostrados acima.

O ESQUEMA ABAIXO EXPLICA: (1) como os cátions são retidos pela argila e pela matéria orgânica para resistir à lixiviação e (2) como os ânions são repelidos.



O SOLO COMO UM RESERVATÓRIO DE CÁTIONS



O conceito do solo como um reservatório de cátions, pela sua importância, justifica seu inter-relacionamento com os conceitos de acidez. Os cátions, elementos químicos que ocorrem nos solos, podem ser ácidos ou básicos.

Cátions ácidos

Hidrogênio (H^+)
Alumínio (Al^{3+})

Cátions básicos

Cálcio (Ca^{2+})
Magnésio (Mg^{2+})
Potássio (K^+)
Sódio (Na^+)

(Adaptada de Raij, 1981)

Neste exemplo, a **acidez ativa** é mostrada no valor atual do solo (pH 4,9). A **CTC a pH 7,0** é representada pelo reservatório total de cátions do solo, que abrange os cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ = **Soma de bases**) e os cátions ácidos (Al^{3+} = **acidez trocável**; H^+ = **acidez não trocável**).

O valor de pH dá uma idéia da relação entre a soma de cátions ácidos e de cátions básicos no solo. Quanto mais ácido for um solo, maior o teor destes cátions ácidos e menor o teor de cátions básicos.

A calagem bem feita, adicionando cálcio e magnésio ao solo e elevando o pH, inverte esta situação, estabelecendo maior porcentagem de cátions básicos em relação aos cátions ácidos.

Para maiores detalhes sobre os conceitos de acidez e CTC do solo, ver Anexo 1.

O sulfato pode ser retido, um tanto fracamente, em alguns solos sob certas condições. Em valores baixos de pH, cargas positivas podem desenvolver-se nas arestas quebradas das argilas, tais como a caulinita. Os solos contendo óxidos hidratados de ferro e alumínio (tanto no solo superficial como no subsolo) adsorvem o sulfato nas cargas positivas que se desenvolveram. Mas esta pequena retenção tem pouca consequência em pH acima de 6,0. Grandes quantidades de sulfato podem ser retidas através de acumulações de gesso, em regiões áridas e semi-áridas.

Os sais de sulfato podem ser retidos na superfície dos colóides do solo, e o íon sulfato pode ser fracamente retido por outros complexos nos quais são adsorvidos. A matéria orgânica algumas vezes desenvolve cargas positivas; quando isto acontece, o sulfato pode ser atraído por ela.

MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO **(ver Conceitos de Produção 1-7 e 1-8)**

A matéria orgânica do solo consiste em resíduos de plantas e de animais em fases de decomposição. Os níveis adequados são benéficos ao solo de várias formas: (1) melhoram as condições físicas; (2) aumentam a infiltração de água; (3) melhoram o solo para o preparo; (4) diminuem as perdas por erosão; (5) fornecem nutrientes para as plantas e (6) aumentam a CTC. A maioria dos benefícios ocorre em função dos produtos liberados à medida que os resíduos orgânicos são decompostos no solo.

A matéria orgânica contém cerca de 5% de nitrogênio total; assim, ela serve como uma reserva de nitrogênio. Mas o nitrogênio na matéria orgânica está na forma de compostos orgânicos, não imediatamente disponíveis para o uso pelas plantas, uma vez que a decomposição normalmente ocorre de forma lenta. Apesar de um solo poder conter muita matéria orgânica, os adubos nitrogenados são necessários para assegurar às culturas não leguminosas uma fonte adequada de nitrogênio prontamente disponível, especialmente àquelas culturas que necessitam de altos níveis deste nutriente.

Outros elementos essenciais para as plantas também estão contidos na matéria orgânica do solo. Os resíduos de plantas e de animais contêm quantidades variáveis de elementos minerais, como o fósforo, o magnésio, o cálcio, o enxofre e os micronutrientes. À medida que a matéria orgânica se decompõe, estes elementos tornam-se disponíveis para as plantas em crescimento.

A decomposição da matéria orgânica tende a liberar nutrientes, mas o nitrogênio e o enxofre podem ser temporariamente imobilizados durante o processo. Os microrganismos que decompõem a matéria orgânica necessitam de nitrogênio para formar proteínas em seus corpos. Se a matéria orgânica que está sendo decomposta possuir uma alta relação carbono/nitrogênio (C/N), o que significa pouco nitrogênio, estes organismos usarão o nitrogênio disponível, proveniente do solo e dos fertilizantes.

Assim, quando os resíduos de algodão e os colmos de milho, ou a palha de aveia e de trigo, são incorporados ao solo, deve-se aplicar nitrogênio adicional, se uma cultura vai ser plantada logo a seguir. Do contrário, esta cultura pode sofrer deficiência temporária de nitrogênio. Eventualmente, o nitrogênio imobilizado nos corpos dos organismos do solo torna-se disponível à medida que estes organismos morrem e se decompõem.

Com sistemas de cultivo conservacionistas (cultivo mínimo ou plantio direto) e o resultante aumento de resíduos, à medida que a produção aumenta, o manejo do nitrogênio exige atenção extra, até que um novo equilíbrio seja atingido. Cuidado extra deve ser tomado para evitar deficiências pelo uso de pouco de nitrogênio. Ao mesmo tempo, as doses usadas não devem exceder as necessidades das culturas, de modo que o potencial de lixiviação de nitrato seja minimizado. Ver Capítulo 10 para maiores detalhes no manejo do nitrogênio.

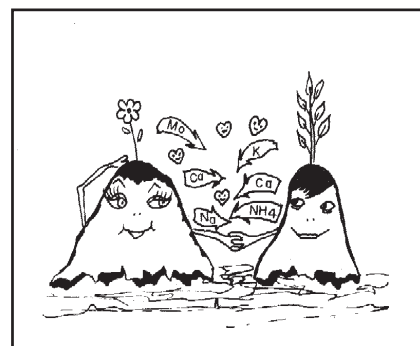
Em muitas áreas dos trópicos, a maioria dos solos apresenta, sob condições naturais, baixos teores de matéria orgânica como resultado de altas temperaturas e alta pluviosidade que aceleram a sua decomposição. Pesquisas têm mostrado, entretanto, que o teor de matéria orgânica pode ser aumentado com manejo adequado, que permita maior produção das culturas e de resíduos por hectare. Em áreas mais frias, onde a decomposição é mais lenta, os níveis naturais de matéria orgânica podem ser muito altos. Com adubação adequada e boas práticas de manejo são produzidas maiores quantidades de resíduos das culturas. Em milhares de alta produtividade, até oito toneladas de resíduos são deixadas no campo, após a colheita dos grãos. Os resíduos ajudam a manter e aumentar os níveis de matéria orgânica nos solos. Ela é benéfica para as propriedades físicas, químicas e microbianas do solo. Ela deve ser aplicada regularmente para manter a produção das culturas. O ponto importante é manter uma quantidade suficiente de resíduos sendo reciclada pelo solo⁽¹⁾.

⁽¹⁾ A maioria dos solos encontrados no Brasil apresenta, sob condições naturais, teores médios a altos de matéria orgânica. Na região dos "cerrados", por exemplo, a seca prolongada (cerca de 6 meses), o pH ácido e a baixa disponibilidade de nutrientes reduzem a taxa de mineralização da matéria orgânica, permitindo uma acumulação relativa na camada superficial do solo. Entretanto, sob manejo inadequado e cultivo intensivo, notadamente nos solos arenosos, esta matéria orgânica pode ser reduzida a níveis baixíssimos em poucos anos.

IMPORTÂNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA

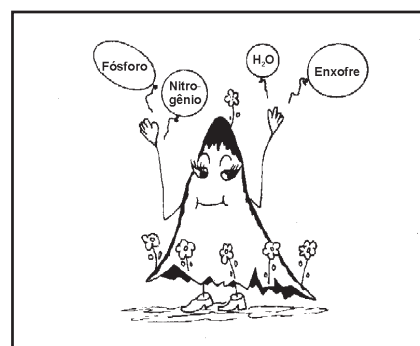
Ao contrário do que algumas pessoas chegam a acreditar, a **matéria orgânica não é indispensável para as culturas.**

As plantas podem ser cultivadas usando-se apenas produtos químicos, como é feito, em escala comercial, em cultivos hidropônicos de hortaliças, muito importantes em países de clima temperado.



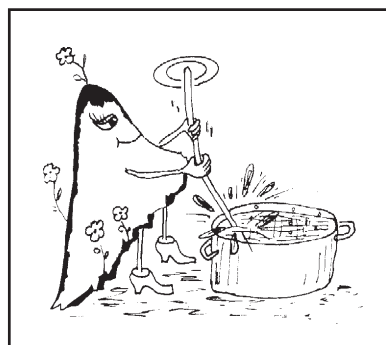
Apresenta alta capacidade de troca de cátions (CTC)

A planta, na realidade, é uma **fábrica de matéria orgânica**, que ela sintetiza a partir apenas de água, gás carbônico e nutrientes minerais, e fixando a energia solar através da fotossíntese, como foi visto no Conceito de Produção 1-2.



Libera lentamente fósforo, nitrogênio, enxofre e água

A matéria orgânica decomposta (húmus), contudo, torna-se essencial para os solos cultivados devido a um ou mais dos efeitos mostrados neste conceito de produção.



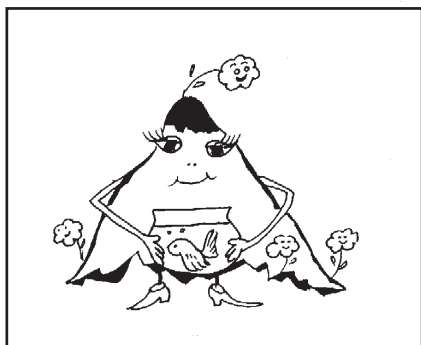
Solubiliza nutrientes nos solos minerais



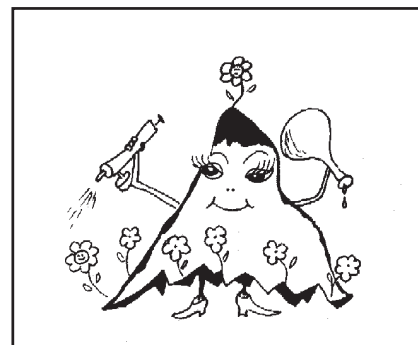
Melhora a nutrição das plantas em micronutrientes pela formação de quelatos

(Continua)

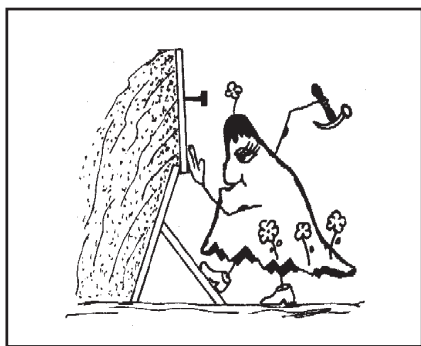
CONCEITO DE PRODUÇÃO 1-7 (Continuação)



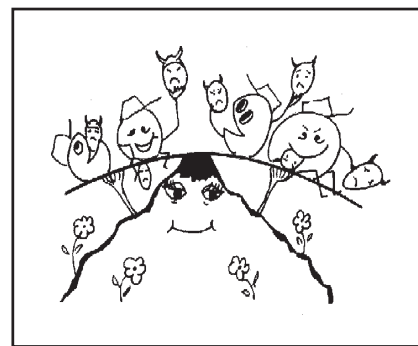
Aumenta a capacidade de retenção de água



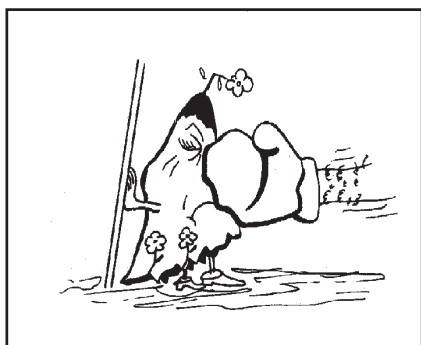
Reduz a toxidez de pesticidas e outras substâncias



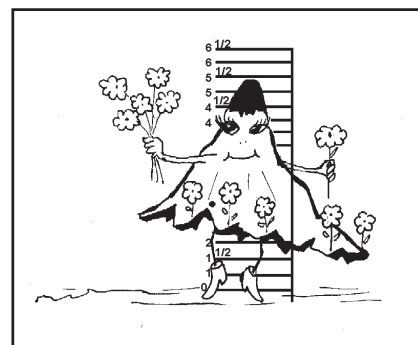
Melhora a estrutura do solo



Favorece o controle biológico pela maior população microbiana



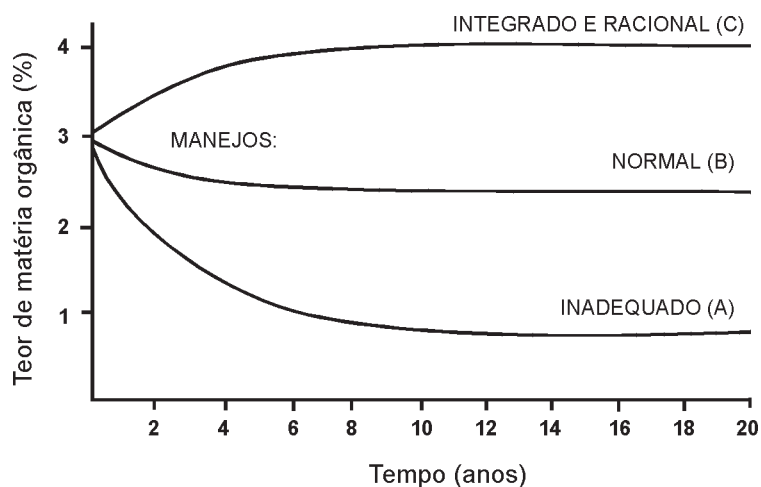
Melhora a capacidade tampão do solo



Exerce efeitos promotores de crescimento

CONCEITO DE PRODUÇÃO 1-8

A MANUTENÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO



A preservação, ou mesmo o aumento do teor de matéria orgânica do solo, pelos motivos apresentados no Conceito de Produção 1-7, são essenciais para a manutenção do processo produtivo da agricultura.

É comum observar-se a diminuição acentuada do teor de matéria orgânica com o passar dos anos (A) quando áreas sob floresta ou mesmo sob cerrado são postas sob cultivo inadequado.

Com o manejo adequado é possível não apenas reduzir-se a intensidade desse processo (B), mas até revertê-lo (C), levando a um aumento no teor de matéria orgânica com os anos de cultivo.

A preservação da matéria orgânica se faz através da combinação de várias técnicas de manejo:

- Adubação mineral
- Conservação do solo e da água
- Adubação verde
- Rotação de culturas
- Consorciação de culturas
- Manejo adequado dos restos culturais
- Cultivo mínimo e/ou plantio direto
- Adubação orgânica

“ É dever de todos proteger e conservar o maior patrimônio nacional, pois a nação que destrói o seu solo destrói a si mesma”.

Franklin Delano Roosevelt

OUTROS FATORES QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE DO SOLO

PROFUNDIDADE DO SOLO

A profundidade do solo pode ser definida como aquela profundidade de material do solo que é favorável para a penetração das raízes das plantas. Solos profundos, bem drenados, com textura e estrutura desejáveis, são favoráveis para a produção das culturas. As plantas necessitam de grande profundidade para o crescimento das raízes e para assegurar a absorção de nutrientes e de água. As raízes atingirão 1 a 2 m quando o solo permitir. As raízes de alfafa podem atingir 3 a 4 m de profundidade, mesmo em solos compactados.

A profundidade das raízes pode ser limitada por barreiras físicas e químicas, assim como por um lençol freático elevado. Camadas adensadas, leitos de folhelhos, camadas de cascalho e acumulações de sais solúveis são muito difíceis de corrigir, mas um lençol freático elevado, geralmente pode ser corrigido com a drenagem adequada (ver Conceito de Produção 1-9)⁽¹⁾.

Na Tabela 1-3 são mostradas as relações entre a produtividade e a profundidade efetiva do solo.

Tabela 1-3. Influência da profundidade do solo na produtividade relativa.

Profundidade do solo utilizável pela cultura (cm)	Produtividade relativa (%)
30	35
60	60
90	75
120	85
150	95
180	100

DECLIVIDADE

A topografia da área determina a quantidade de escoamento superficial e de erosão, levando junto os nutrientes do solo. Ela também determina os métodos de irrigação, drenagem e outras melhores práticas de manejo (MPM) necessárias para a conservação do solo e da água. Quanto maior a declividade, mais manejo é necessário, aumentando o trabalho e os custos dos equipamentos. Uma certa declividade torna o solo não adequado para a produção de culturas anuais. A facilidade com a qual a superfície do solo sofre o processo

erosivo, juntamente com a declividade, é um fator determinante do potencial de produtividade do solo. A Tabela 1-4 relaciona a produtividade com a declividade e a erodibilidade do solo.

Tabela 1-4. Produtividade relacionada com declividade e erodibilidade do solo.

Declividade (%)	Produtividade relativa (%) ¹	
	Solo não facilmente erodível	Solo facilmente erodível
0-1	100	95
1-3	90	75
3-5	80	50
5-8	60	30

¹ Preparo conservacionista e sistemas de produção que mantêm resíduos de culturas na superfície do solo ajudam a reduzir os efeitos prejudiciais da declividade.

ORGANISMOS DO SOLO

Vários grupos de organismos vivem no solo. Eles variam em tamanho, desde microscópicos (bactérias, nematóides e fungos) até grupos visíveis a olho nu (minhocas e larvas de insetos). Alguns microrganismos causam várias reações favoráveis no solo, como a decomposição dos resíduos das plantas e dos animais. Eles ajudam a acelerar a ciclagem de nutrientes. Outras reações são danosas, tais como o desenvolvimento de organismos que causam doenças em plantas e em animais.

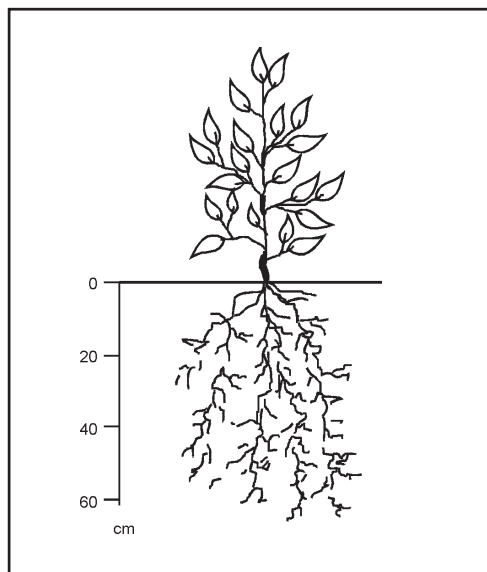
A maioria dos organismos do solo depende da matéria orgânica como alimento e fonte de energia; conseqüentemente, eles são encontrados nos primeiros 30 cm do solo. Os fatores que afetam a abundância dos microrganismos incluem: umidade, temperatura, aeração, suprimento de nutrientes, pH do solo e tipo de cultura. Bom manejo da adubação juntamente com outras MPM ajudam a manter os organismos benéficos do solo em níveis adequados. O Capítulo 3 discute as atividades de alguns tipos de organismos do solo.

EQUILÍBRIO DE NUTRIENTES

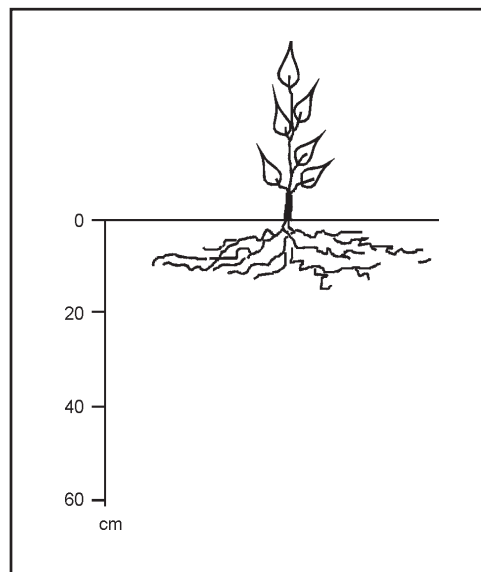
O equilíbrio de nutrientes é um conceito vital em fertilidade do solo e para a produção das culturas. O nitrogênio (N) pode ser o primeiro nutriente limitante para plantas não leguminosas. Mas, sem quantidades adequadas de outros nutrientes, o nitrogênio não pode fazer tudo o que é capaz. À medida que a adubação nitrogenada aumenta as produções, a cultura extrai mais dos outros nutrientes, como é mostrado na Tabela 1-5.

⁽¹⁾ Uma das maiores limitações ao desenvolvimento do sistema radicular em muitos solos do Brasil, notadamente aqueles sob cerrado, consiste nas condições de acidez, altos teores de Al e baixa disponibilidade de Ca e Mg. Análises químicas das camadas mais profundas do solo podem diagnosticar as áreas com este tipo de problema.

BARREIRAS QUÍMICAS PARA O DESENVOLVIMENTO DAS RAÍZES



Planta com desenvolvimento radicular adequado



Planta com desenvolvimento radicular limitado à camada arável

A preocupação com a avaliação da fertilidade do solo não deve restringir-se apenas à camada arável do solo, ou seja, à camada de 0 a 20 cm de profundidade.

Muitas vezes, a falta de cálcio e/ou o excesso de alumínio no subsolo limitam o crescimento das raízes em profundidade, com uma série de implicações de ordem prática. Nestas condições, a planta, com um sistema radicular limitado, fica impossibilitada de obter água e nutrientes do subsolo, principalmente o mais importante e caro deles, o nitrogênio, cuja forma nítrica (NO_3^-) facilmente lixivia para o subsolo. Em áreas sujeitas a veranicos esses problemas são ainda mais acentuados.

A solução não é fácil, mas uma série de aspectos de manejo do solo e do nitrogênio ajudam a diminuir este problema:

- **Amostragem do solo também nas camadas de 20 a 40 cm** e, às vezes, até 60 a 80 cm, para verificar se o problema existe.
- **Incorporação mais profunda do calcário**, fazendo correção da dose de acordo com a profundidade adicional de incorporação. As recomendações de calagem são, em geral, baseadas na camada de 0 a 20 cm.
- **Utilização de doses mais elevadas de calcário**, que concorrem, com o passar dos anos, para diminuir os problemas no subsolo.
- **Uso do gesso agrícola**, que também favorece o aprofundamento das raízes em certos solos.
- **Cultivo de variedades mais tolerantes à acidez.**

Tabela 1-5. Aumento da exigência de potássio por uma cultura forrageira, à medida que recebe mais nitrogênio.

N aplicado anualmente (kg/ha)	K ₂ O removido (kg/ha)
0	112
112	202
224	258
336	274

Texas, EUA

O bom desenvolvimento das culturas exige um equilíbrio adequado dos nutrientes. O exemplo da Tabela 1-6, com o milho, mostra como o fósforo (P) em equilí-

brio com nitrogênio (N) aumentou a produtividade e a eficiência e absorção de N.

Tabela 1-6. Efeito de doses de P na produtividade do milho e eficiência do uso de N.

Dose de P ₂ O ₅ (kg/ha)	Produtividade (t/ha)	Eficiência de N (kg/kg N)	Absorção de N (kg/ha)
0	9,1	30,1	211
22,5	9,9	32,7	230
45,0	10,6	35,1	246
90,0	10,9	36,1	253
135,0	11,2	37,1	261

Análise de solo: P = 12-25 kg/ha. Ohio, EUA
Dose de N = uniforme de 270 kg/ha; absorção de N calculada como 0,023 kg/kg de produção.

RESUMO

Vários fatores controlam a produtividade do solo, sendo que o uso de fertilizante é apenas um desses fatores. As falhas no uso de práticas adequadas de produção reduzem os benefícios potenciais dos fertilizantes e limitam a produtividade. O conhecimento dos fa-

tores que controlam a produtividade e a aplicação desse conhecimento são os objetivos deste manual. Não se pretende responder a todas as perguntas, mas ajudar a resolver os problemas que podem limitar a capacidade de produção do solo. ■

CAPÍTULO 1

CONCEITOS SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE

PERGUNTAS DE REVISÃO

1. (C ou E) Um solo fértil é um solo produtivo.
2. Os seis (6) fatores externos que controlam o crescimento das plantas são: _____, _____, _____, _____, _____ e _____.
3. A textura do solo é definida como a quantidade relativa de _____, _____ e _____ no solo.
4. (C ou E) Os solos arenosos apresentam textura mais fina do que os solos argilosos.
5. Qual o solo que apresenta a maior capacidade de retenção de água, o arenoso ou o argiloso?
6. Qual o solo que apresenta o maior espaço poroso, o arenoso ou o argiloso?
7. _____ define a água que permanece após cessar o fluxo gravitacional, enquanto _____ é a quantidade de água que o solo contém após as plantas murcharem de forma permanente.
8. A água que a planta usa para seu crescimento é chamada _____.
9. (C ou E) Um colóide do solo é visível a olho nu.
10. Os colóides do solo apresentam cargas _____ que são desenvolvidas durante o processo de formação do solo.
11. Um cátion possui carga (+ ou -).
12. Um ânion possui carga (+ ou -).
13. Com base no fato de que cargas opostas se atraem, quais dos seguintes íons seriam atraídos pelos colóides do solo: K^+ , cátion, NO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , ânion?
14. O número total de cátions (expresso como $cmol_c/dm^3$ ou $mmol_c/dm^3$) que um solo pode reter é chamado de _____ ou de _____.
15. Quais dos seguintes fatores afetam a CTC do solo: tipo de argila, matéria orgânica, teor de argila?
16. Qual apresenta maior CTC, a argila ou a matéria orgânica?
17. A porcentagem da CTC total, ocupada por cada um dos cátions principais é chamada _____.
18. (C ou E) Sob certas condições, ânions como NO_3^- e SO_4^{2-} podem ser retidos pelo solo.
19. _____ consiste de resíduos de plantas e de animais em vários estágios de decomposição.
20. Quais dos seguintes são benefícios da matéria orgânica: melhora as condições físicas, aumenta a infiltração de água, melhora o solo para o preparo, reduz a erosão, melhora a nutrição das plantas?
21. (C ou E) O nitrogênio é usado pelos organismos do solo para formar as proteínas dos seus corpos.
22. Quais dos resíduos seguintes apresentam alta relação C/N: resíduos de algodão, palha de trigo, palha de alfafa, colmos do milho?

23. (C ou E) Os níveis de matéria orgânica são normalmente mais altos em climas mais quentes e com maior pluviosidade.
24. (C ou E) A profundidade do solo afeta a produtividade.
25. (C ou E) A declividade do solo afeta a produtividade.
26. Dentre todos os fatores que limitam a profundidade efetiva do solo, um _____ elevado é o mais fácil de corrigir.
27. Entre _____ e _____% de declividade, um solo sujeito a erosão atinge 75% de sua produtividade relativa.
28. Os fatores que afetam a abundância relativa dos organismos do solo incluem _____, _____, _____, _____ e _____.
29. (C ou E) O balanço de nutrientes é um importante princípio em fertilidade do solo.
30. _____, _____ e _____ são classificados como elementos não minerais.
31. Classifique os seguintes como nutrientes primários, secundários e micronutrientes: N, Ca, B, K, P, S, Fe, Zn, Mg, Cu, Mo e Mn.

REAÇÃO DO SOLO E CALAGEM

	Página
• O que é pH do solo	23
• Fatores que afetam o pH do solo	24
• Como medir o pH do solo	25
• Determinação das necessidade de calcário	25
• Porque os solos ácidos devem receber calagem	26
• Os níveis desejáveis de pH variam	30
• Como o calcário reduz a acidez do solo	30
• Época e frequência das aplicações de calcário	31
• Seleção do material calcário	31
• Localização do calcário	32
• Materiais calcários	33
• Solos com alto pH: calcários, salinos e sódicos	33
• Perguntas de revisão	35

O QUE É pH DO SOLO?

O **TERMO pH** define a acidez ou a alcalinidade relativa de uma substância. A escala de pH cobre uma amplitude de 0 a 14. Um valor de pH igual a 7,0 é neutro. Valores abaixo de 7,0 são ácidos e acima de 7,0 são básicos. O pH da maioria dos solos produtivos varia entre os valores de 4,0 e 9,0. Os graus de acidez e

de alcalinidade para esta amplitude de pH são mostrados na Figura 2-1. Um ácido é uma substância que libera íons hidrogênio (H^+). Quando saturado com H^+ , um solo comporta-se como um ácido fraco. Quanto mais H^+ for retido no complexo de troca maior será a acidez do solo. O alumínio também age como um elemento acidificante e ativa o H^+ .

O pH do solo simplesmente mede a atividade do íon hidrogênio e é expresso em termos logarítmicos. O significado prático da relação logarítmica é que cada unidade de mudança no pH do solo significa uma mudança de dez vezes no grau de acidez ou de alcalinidade. Isto quer dizer que um solo com pH 6,0 tem um grau de acidez 10 vezes maior do que um solo com pH 7,0 ou 10 vezes mais H^+ ativo, e que as necessidades de calcário aumentam rapidamente à medida que o pH diminui (acidez aumenta). Os graus relativos de acidez ou de alcalinidade, comparados com o pH neutro ou 7,0, são mostrados na Tabela 2-1.

Tabela 2-1. Comparação da magnitude de acidez e alcalinidade a vários valores de pH.

pH do solo		Acidez/alcalinidade comparada a pH 7,0
9,0	Alcalinidade	100
8,0		10
7,0	Neutralidade	
6,0	Acidez	10
5,0		100
4,0		1.000

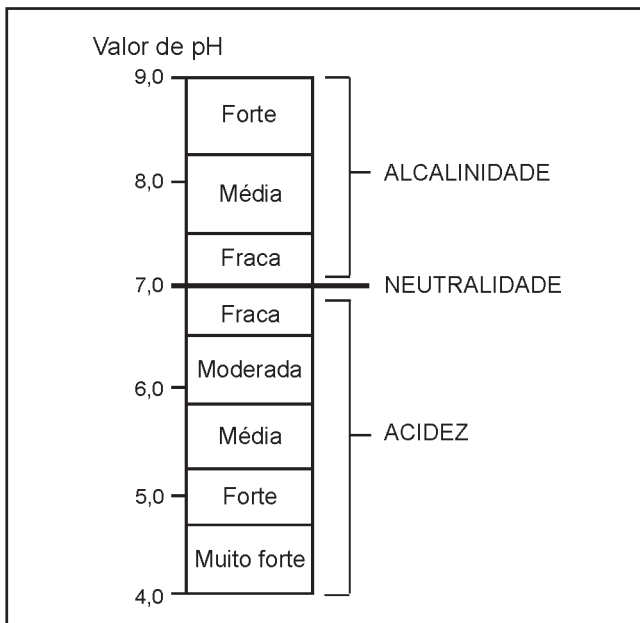


Figura 2-1. Graus de acidez e alcalinidade encontrados na maioria dos solos agrícolas.

FATORES QUE AFETAM O pH DO SOLO

O pH do solo é influenciado por vários fatores, incluindo: material de origem, precipitação, decomposição da matéria orgânica, vegetação nativa, tipo de cultura, profundidade do solo, adubação nitrogenada e inundação.

- **Material de origem** — Os solos desenvolvidos de rochas ou de material de origem básica geralmente possuem valores de pH mais altos do que aqueles formados de rochas ácidas (por exemplo: granito).
- **Precipitação** — A água da chuva, passando pelo solo, lixivia os nutrientes básicos, como o cálcio e o magnésio. Eles são substituídos por elementos acidificantes como o hidrogênio, o manganês e o alumínio. Assim sendo, os solos formados sob condições de alta pluviosidade são mais ácidos do que aqueles formados sob condições áridas.
- **Decomposição da matéria orgânica** — A matéria orgânica do solo está continuamente sendo decomposta pelos microrganismos em ácidos orgânicos, dióxido de carbono (CO_2) e água, formando ácido carbônico. O ácido carbônico, por sua vez, reage com os carbonatos de cálcio e magnésio no solo para formar bicarbonatos solúveis que são lixiviados, deixando o solo mais ácido.

A Figura 2-2 mostra o efeito a longo prazo do acúmulo e mineralização da matéria orgânica sobre o carbono orgânico (C), o N orgânico e o pH do solo.

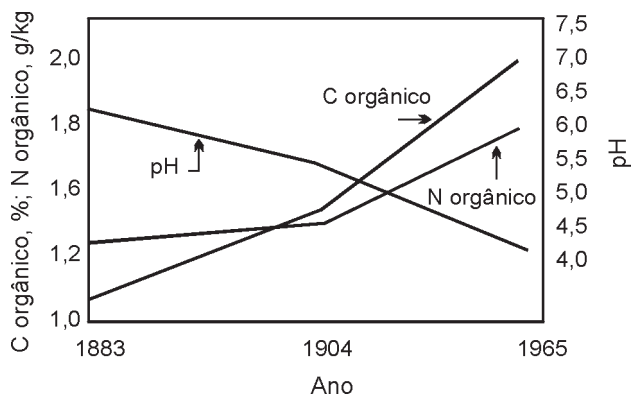


Figura 2-2. Mudanças no carbono orgânico, nitrogênio orgânico e pH do solo quando o solo superficial foi deixado em pousio por 82 anos num clima temperado úmido (Rothamsted, Inglaterra).

- **Vegetação nativa** — Os solos formados sob vegetação de floresta tendem a ser mais ácidos do que aqueles desenvolvidos sob vegetação de

gramíneas. As coníferas causam maior acidez do que as florestas decíduas.

- **Tipo de cultura** — Os solos podem tornar-se mais ácidos quando as colheitas removem as bases. Culturas diferentes removem quantidades diferentes de cálcio e magnésio, como pode ser visto na Tabela 2-2. As leguminosas geralmente contêm maiores quantidades destes nutrientes do que as plantas não leguminosas. As quantidades de cálcio e de magnésio também variam de acordo com a parte da planta que é removida.

Tabela 2-2. Estimativa das quantidades de cálcio e de magnésio removidas pelas culturas.

Cultura	Produção (t/ha)	Remoção (kg/ha)	
		Ca	Mg
Alfafa	8 (feno)	196	45
Banana	60 (frutos)	23	25
Milho	9 (grãos)	2	15
Algodão	1 (fibra)	2	3
Soja	3 (grãos)	7	15

Os valores se referem às quantidades totais removidas pelas culturas nas plantas colhidas.

Quando a palhada de uma cultura ou a forragem é removida de um solo, um balanço final ácido permanece. Quando os grãos ou sementes são removidos, o balanço final é o aumento do pH porque as sementes contêm um alto nível de componentes ácidos.

Várias leguminosas liberam íons de hidrogênio (H^+) na sua rizosfera quando estão fixando ativamente o nitrogênio (N_2) atmosférico. A acidez gerada pode variar de 0,2 a 0,7 unidades de pH por mol de nitrogênio fixado. A Figura 2-3 mostra que a gramínea (Ryegrass) não afetou o pH do solo, enquanto a leguminosa (trevo vermelho) teve efeito significativo na diminuição do pH.

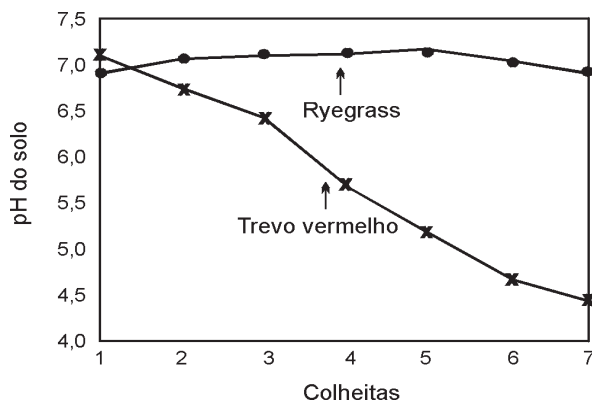


Figura 2-3. Efeito da fixação simbiótica do nitrogênio no pH do solo. Comparação de Ryegrass e trevo vermelho em experimento de vasos (14 meses) em um Alfisol (loess).

- **Profundidade do solo** — A acidez geralmente aumenta com a profundidade do solo, exceto em áreas de baixa pluviosidade. A perda do solo superficial por erosão pode aumentar a acidez na camada arável. À medida que a profundidade do solo superficial diminui, mais subsolo é incluído na camada arável. Existem casos, entretanto, em que o pH do subsolo é mais elevado do que o do solo superficial. Como resultado, a erosão poderia contribuir para elevar os valores de pH do solo.
- **Adubação nitrogenada** — Nitrogênio... do fertilizante, da matéria orgânica, do esterco e da fixação por leguminosas... produz acidez. A adubação nitrogenada acelera a taxa de desenvolvimento da acidez. Com pequenas doses de nitrogênio a taxa de acidificação é baixa, mas aumenta com o aumento das doses de fertilizantes nitrogenados (ver Capítulo 3, como os fertilizantes nitrogenados afetam o pH do solo). Em solos calcários esses efeitos de acidificação podem ser benéficos. Quando o ferro, o manganês e outros micronutrientes, exceto o molibdênio, são deficientes, a disponibilidade deles pode ser aumentada com a diminuição do pH.
- **Inundação** — O efeito geral da submergência é um aumento de pH nos solos ácidos e a diminuição do pH nos solos básicos. Independente do valor original do pH, a maioria dos solos atinge pH entre 6,5 e 7,2 um mês após serem inundados, e assim permanecem até serem secos novamente. Conseqüentemente, a calagem tem pouco valor na produção de arroz em sistemas de irrigação por inundação. Além disso, a inundação pode induzir à deficiência de micronutrientes como o zinco.

COMO MEDIR O pH DO SOLO — DETERMINAÇÃO DAS NECESSIDADES DE CALCÁRIO

Os dois métodos mais comumente usados para medir o pH do solo são o colorimétrico e o potenciométrico.

O método colorimétrico, envolvendo corantes indicadores, é freqüentemente utilizado no campo para fazer uma rápida determinação do pH, mas precisa ser usado por pessoas treinadas, para evitarem-se erros. Quando usado de modo adequado, é digno de confiança.

O método mais difundido e preciso é o do potenciômetro. O pH do solo é determinado através da colocação de uma suspensão de solo em água destilada, ou CaCl_2 0,1 M, em contato com um eletrodo de vidro, e da leitura do resultado em uma escala de 0 a 14.

Apesar do pH do solo ser um excelente indicador da acidez do solo, ele não determina a necessidade de calcário. A necessidade de calcário é a quantidade de um calcário agrícola de boa qualidade necessária para atingir o limite de pH requerido pelo sistema de cultivo aplicado. Quando o pH é medido no laboratório, somente a **acidez ativa** é determinada. A **acidez potencial**, que é função da argila e da matéria orgânica, também deve ser considerada. Assim, é necessário aplicar-se algum método que relacione uma mudança de pH ao se adicionar uma quantidade conhecida de ácido ou base. Tal método é chamado de **determinação das necessidades de calcário** ⁽¹⁾ e Conceito de Produção 1-6).

A necessidade de calcário não está somente relacionada ao pH do solo, mas também à sua capacidade tampão ou à sua capacidade de troca de cátions (CTC). As quantidades totais de argila e de matéria orgânica num solo, assim como o tipo de argila, determinarão o seu poder tampão, ou seja, quão fortemente ele resiste às mudanças de pH. A capacidade tampão aumenta com as quantidades de argila e de matéria orgânica. Tais solos necessitam mais calcário para aumentar o pH do que solos com baixa capacidade tampão. Os solos arenosos, com pequena quantidade de argila e de matéria orgânica, têm baixa capacidade tampão e, portanto, necessitam menos calcário para elevar seu pH.

Um método comum para a determinação da necessidade de calcário é baseado na mudança de pH em uma solução tampão comparada com o pH de uma suspensão de solo em água. Um solo ácido causará uma diminuição de pH na solução tampão. O pH sofre um abaixamento proporcional ao pH do solo original e à capacidade tampão do solo. Através da calibração das mudanças de pH na solução tampão, que ocorrem a cada adição de quantidades conhecidas de ácido, a quantidade de calcário necessária para levar o solo a um determinado pH pode ser determinada. Existem inúmeros métodos utilizando uma solução tampão⁽²⁾.

Em solos dominados por argilas 2:1 (por exemplo, smectitas), uma diminuição da saturação por bases...

⁽¹⁾ Para maiores detalhes sobre tipos e conceitos de acidez do solo, consultar o Anexo 1.

⁽²⁾ Os métodos atualmente em uso no Brasil, para a determinação da necessidade de calcário, são três: a) neutralização do alumínio e elevação de cálcio e magnésio; b) solução tampão SMP, e c) elevação da saturação por bases. Estes métodos são comentados no Boletim Técnico nº 1 da ANDA: Acidez do Solo e Calagem.

perdas de Ca, Mg e K... causa acidificação e, conseqüentemente, quebra dos minerais de argila e liberação de Al, que então ocupa os pontos de troca das bases perdidas. Estes solos podem receber doses de calcário para levá-los próximo à neutralidade e atingir altas produtividades, com pequeno efeito na sua CTC (solos com cargas permanentes).

Entretanto, a prática bem estabelecida de fazer calagem destes solos, predominantemente da região temperada, até a neutralidade, não é eficiente para solos dos trópicos (Ultisolos e Oxisolos, dominados por óxidos de ferro e alumínio, e caulinita) e nos solos formados de cinzas vulcânicas (Andosolos).

Nesses solos (Ultisolos e Oxisolos) da região tropical, o alumínio e o ferro estão presentes nos minerais da argila que são estáveis a valores de pH tão baixos como pH 5,0. O alumínio é "enterrado" nas estruturas da argila e somente torna-se tóxico para as plantas quando os óxidos e a caulinita dissolvem a uma faixa de pH menor que 5,0 a 5,3. Neste caso, a toxidez de alumínio pode ser corrigida por calagem para atingir pH 5,5 a 6,0, causando precipitação do Al trocável como hidróxido de alumínio [Al (OH)₃] e, ao mesmo tempo, causando um aumento apreciável na capacidade de troca de cátions (CTC) — solos de carga variável, como apresentado na Tabela 2-3. Conseqüentemente, sugere-se que as recomendações de calcário para estes solos sejam feitas com base no teor de alumínio trocável presente na camada superficial dos mesmos.

Tabela 2-3. Efeito da calagem em um Ultisolo-Vermelho.

Tratamento	pH	Saturação, cmol _c /dm ³				CTC efetiva cmol _c /dm ³
		Ca	Mg	K	Al	
Sem calcário	4,9	1,79	1,12	0,11	2,15	5,17
Com calcário ¹	5,8	7,90	6,73	0,14	0,09	14,86

¹ 4 t/ha. Panamá

A necessidade de calcário, para a maioria dos solos dos trópicos, pode ser calculada pela aplicação da seguinte equação:

$$\text{Equivalente em CaCO}_3 \text{ (t/ha)} = 2^* \times \text{cmol}_c \text{ Al/dm}^3$$

Tabela 2-4. Efeito da aplicação de calcário sobre as propriedades do solo e produção em um Andosolo.

Calcário (t/ha)	pH	cmol _c /dm ³					Produção (t/ha)		
		Ca	Mg	K	Al	CTC	Fava	Cevada	Aveia
0	4,9	2,54	0,36	0,30	2,1	6,0	13,9	2,2	3,6
3	5,2	3,30	0,39	0,29	1,6	6,6	17,1	2,9	4,3
6	5,3	4,69	0,40	0,28	0,6	7,2	19,2	3,9	4,7
12	5,4	5,59	0,40	0,30	0,2	8,4	21,6	4,1	4,8
15	5,8	8,60	0,42	0,29	0,1	10,4	21,0	4,3	4,7

Equador

* Observou-se que o fator da equação varia de 1,5 a 3,3, com a maioria dos dados entre 1,5 a 2,0. Este fator tem que ser determinado de acordo com a especificidade local e com a tolerância da cultura ao alumínio (ver Tabela 2-6).

Em solos formados de cinzas vulcânicas, a alta capacidade tampão complica a avaliação da necessidade de calcário. Quando o calcário é aplicado em Andosolos ácidos, a sua interação com os produtos intemperizados e reativos das cinzas vulcânicas (alofana, imogolita, complexos Al-húmus) cria cargas (aumenta a CTC), mas não aumenta o pH nem precipita o alumínio. Conseqüentemente, como ilustrado na Tabela 2-4, o uso de Al trocável pode levar a subestimar a necessidade de calcário, em certos casos. Dependendo de fatores como altitude, clima e estágio de intemperização, a quantidade de calcário necessária para precipitar o alumínio varia nesses Andosolos e somente pode ser avaliada, com precisão, através de ensaios demonstrativos locais.

Independentemente do método usado na determinação do pH do solo e da necessidade de calcário, o uso de corretivo deve ser baseado em um método que seja digno de confiança. O excesso de calcário, em solos de textura arenosa, pode levar a condições excessivamente básicas e a sérios problemas, como as deficiências de ferro, de manganês, de zinco e de outros micronutrientes. Por outro lado, as quantidades de calcário que poderiam causar problemas às culturas em solos arenosos podem não ser suficientes para elevar o pH ao nível desejado nos solos argilosos ou orgânicos.

PORQUE OS SOLOS ÁCIDOS DEVEM RECEBER CALAGEM (ver Conceitos de Produção 2-1 e 2-2)

A acidez do solo afeta o crescimento das plantas de várias formas. Sempre que o pH é baixo (a acidez é alta), um ou mais efeitos detrimenais podem afetar o crescimento das culturas.

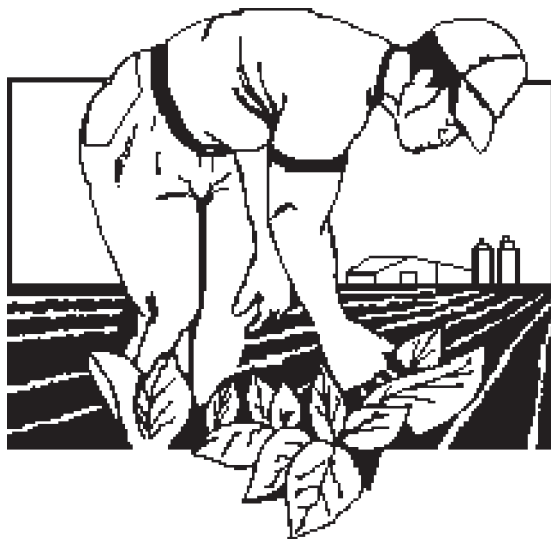
Algumas conseqüências da acidez do solo são apresentadas a seguir:

CONCEITO DE PRODUÇÃO 2-1

CALCÁRIO

Quando aplicado para atingir pH adequado, o calcário faz muito mais do que “adocicar” o solo...

- **CALCÁRIO** reduz a toxidez de alumínio e de outros metais.
- **CALCÁRIO** melhora as condições físicas do solo.
- **CALCÁRIO** estimula a atividade microbiana no solo.
- **CALCÁRIO** aumenta a CTC em solos de carga variável.
- **CALCÁRIO** aumenta a disponibilidade de vários nutrientes.
- **CALCÁRIO** supre cálcio. Calcário dolomítico supre ambos: cálcio e magnésio.
- **CALCÁRIO** melhora a fixação simbiótica de N pelas leguminosas.



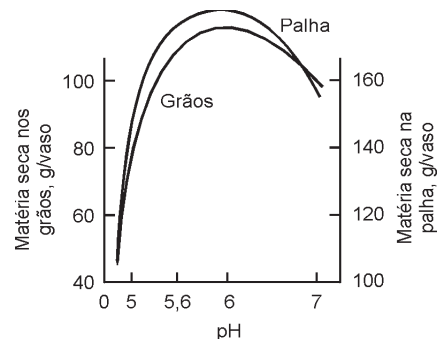
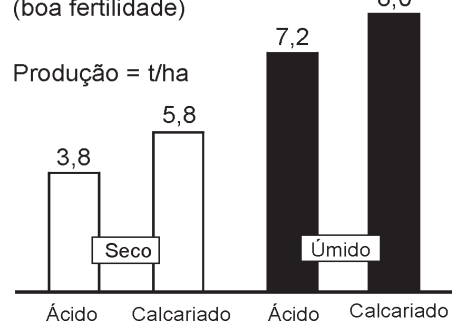
Entretanto, em solos tropicais com altos teores de óxidos de ferro e alumínio, “super-calagens” para atingir níveis de pH acima de 6,0 ou 7,0 podem reduzir drasticamente a produtividade, podem causar deterioração da estrutura, reduzir a disponibilidade de fósforo e induzir a deficiências de zinco, boro e manganês.

Em região temperada, a produção de milho pode aumentar acentuadamente quando os solos ácidos recebem calagem para chegar próximo ao pH neutro. Neste exemplo, o calcário aumentou a produção em 2 t/ha nos anos secos, e 0,8 t/ha nos anos úmidos. Em todos os casos, o milho foi bem adubado. O calcário e o fertilizante formam um time de alta produtividade e alto lucro (ver Figura).

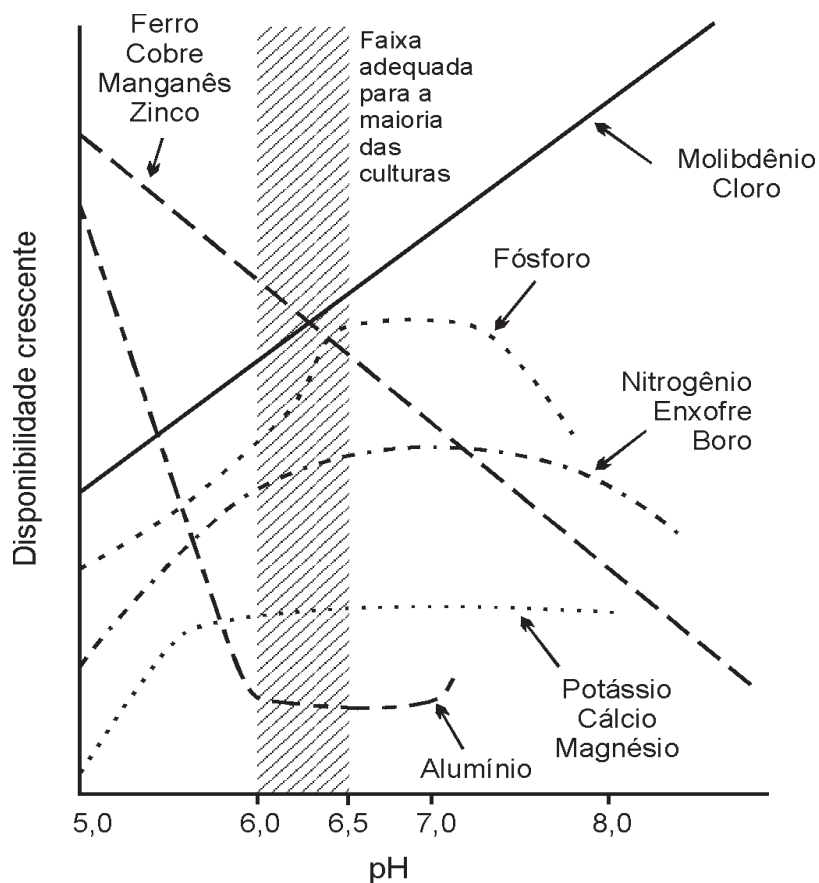
Em solos ácidos dos trópicos, de baixa fertilidade, doses de calcário acima daquelas necessárias para neutralizar o alumínio trocável ou para eliminar a toxidez de manganês podem causar diminuição na produção, como nesse exemplo de milho cultivado em um Ultisolo do Havaí (ver Figura).

Resposta do milho à calagem (boa fertilidade)

Produção = t/ha



pH E A DISPONIBILIDADE DOS ELEMENTOS NO SOLO



Para fins práticos, considera-se a faixa de pH entre 6,0 e 6,5 adequada para a maioria das plantas cultivadas no Brasil.

Dentre os vários efeitos da calagem em solos ácidos, destaca-se o aumento da disponibilidade da maioria dos nutrientes essenciais para as plantas.

Com exceção do ferro, cobre, manganês e zinco, que apresentam diminuição na sua disponibilidade com a elevação do pH, todos os demais (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, molibdênio e cloro) têm sua disponibilidade aumentada pelo uso racional da calagem em solos ácidos.

O conhecimento deste fato é da maior importância, pois indica que uma das maneiras mais adequadas para aumentar a eficiência dos fertilizantes contendo macronutrientes primários e secundários, em solos ácidos, é o uso de calcário na dosagem correta.

**“ACIDEZ NA TERRA É MÁ DIGESTÃO NA SUA LAVOURA”
CALCÁRIO É O MELHOR REMÉDIO**

- Concentrações de elementos, tais como alumínio, ferro e manganês, podem atingir níveis tóxicos, porque sua solubilidade aumenta nos solos ácidos.
- A toxidez de alumínio é, provavelmente, o fator limitante mais importante para as plantas em solos muito ácidos (pH menor que 5,0 e mesmo pH 5,5 em solos caulíníticos). A toxidez por íons de hidrogênio (H^+) pode afetar diretamente o crescimento das plantas em solos com pH menor que 4,2.
- Os organismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica e pela liberação de nitrogênio, fósforo e enxofre podem estar em pequeno número e com pouca atividade.
- O cálcio pode ser deficiente (raramente) quando a CTC do solo é extremamente baixa. O mesmo pode acontecer com o magnésio.
- A performance dos herbicidas aplicados ao solo pode ser afetada, de modo adverso, quando o pH do solo é muito baixo.

- A fixação simbiótica de nitrogênio pelas leguminosas é severamente reduzida. A relação simbiótica requer uma amplitude de pH mais estreita para o crescimento ótimo das plantas do que no caso de plantas não fixadoras de nitrogênio. A bactéria simbiótica da soja é mais eficiente em pH variando de 6,0 a 6,2, e a da alfafa, em pH 6,8 a 7,0.
- Os solos argilosos, com alta acidez, são menos agregados. Isto causa baixa permeabilidade e aeração, um efeito indireto, motivo pelo qual os solos que receberam calagem produzem mais resíduos das culturas. Os resíduos favorecem a estrutura.
- A disponibilidade de nutrientes como o fósforo e o molibdênio é reduzida.
- Há um aumento na tendência de lixiviação de potássio.

A Figura 2-4 mostra como a amplitude de pH influencia a disponibilidade de nutrientes e outros elementos do solo.

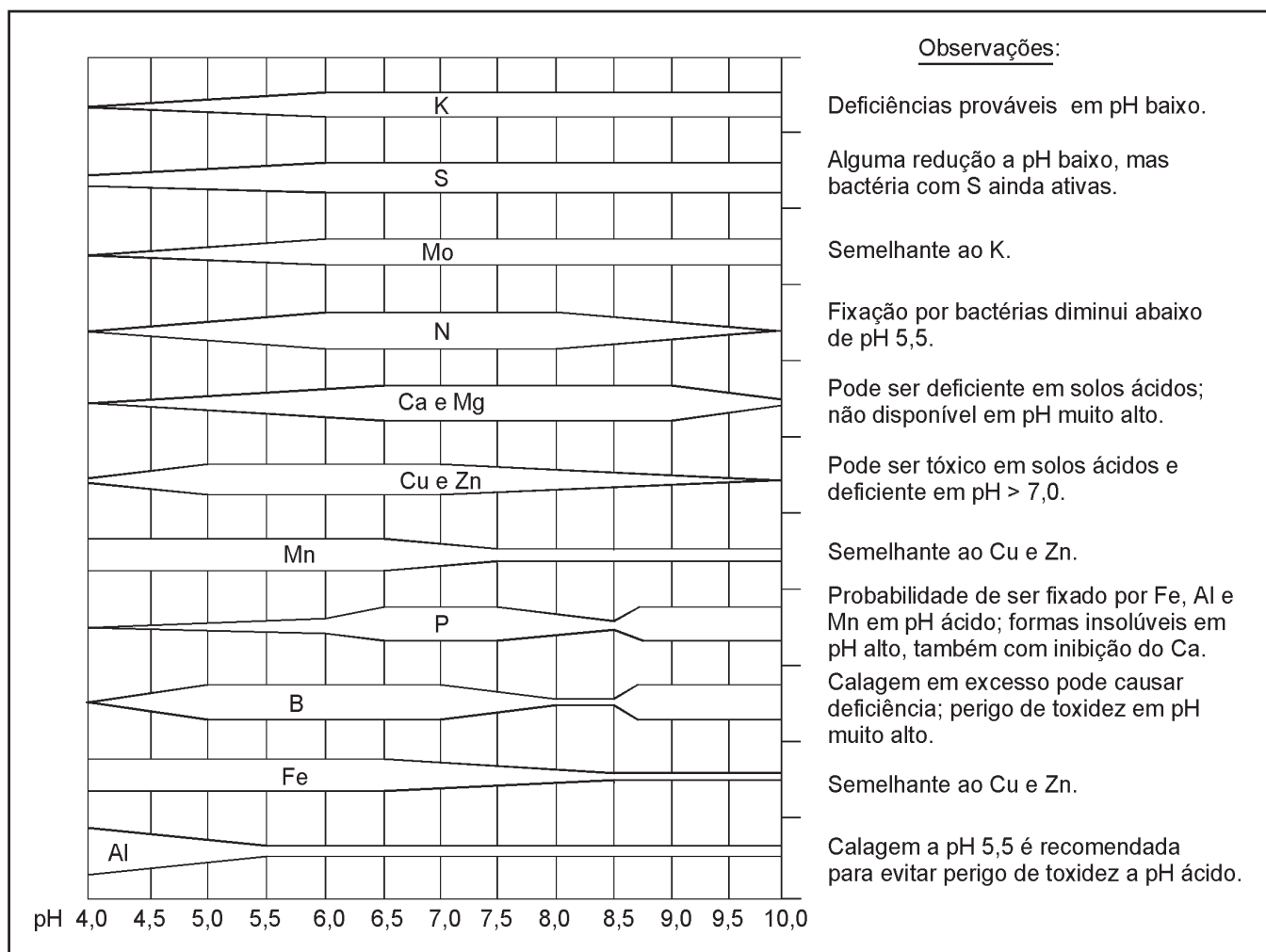


Figura 2-4. Efeito do pH na disponibilidade de nutrientes e outros elementos nos solos.

OS NÍVEIS DESEJÁVEIS DE pH VARIAM

Muitas culturas desenvolvem-se melhor quando o pH está entre 6,0 e 7,0, mas a acidez não retarda o crescimento de todas as culturas. Algumas culturas necessitam de condições ácidas para seu desenvolvimento. A Tabela 2-5 compara os valores de pH desejáveis para várias culturas.

Tabela 2-5. Amplitudes de pH desejáveis para algumas culturas.

5,0-6,0	6,0-6,5	6,5-7,0
Batata inglesa	Gramma bermuda	Alfafa
Batata doce	Milho	Trevos
Melancia	Algodão	
Arroz	Sorgo	
Café	Amendoim	
	Soja	
	Trigo	
	Feijão	

As culturas que originalmente se desenvolveram em solos calcários, tais como algodão, sorgo e alfafa, preferem baixos níveis de saturação por alumínio (% de Al da CTC efetiva). Outras culturas como arroz e cowpea mostram uma grande amplitude de tolerância varietal. O café, o abacaxi, o chá, o dendê e um número de gramineas e leguminosas tropicais podem se desenvolver em solos com alta saturação por alumínio. Entretanto, o calcário pode ser necessário para corrigir as deficiências de cálcio e magnésio ou para corrigir a toxidez de manganês (Tabela 2-6).

Tabela 2-6. Culturas e pastagens adaptadas a solos ácidos com mínima aplicação de calcário.

pH	4,5-4,7	4,7-5,0	5,0-5,3
Saturação por Al (%)	58-75	45-58	31-45
Dose de calcário (t/ha)	0,25-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0
Culturas adequadas (desde que sejam plantadas variedades tolerantes)	Arroz de sequeiro Mandioca Manga Caju Citros Abacaxi Estilosantes Centrosema Paspalum	Cowpea Banana da terra	Milho Feijão preto

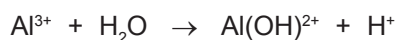
As propriedades do solo variam em diferentes áreas. O pH ótimo em uma região pode não ser o melhor em outras regiões. As diferenças entre as regiões podem

existir para culturas como milho, soja e alfafa, mas não para a batata inglesa. Culturas como a batata inglesa e a soja podem ser afetadas por doenças e/ou deficiências de micronutrientes se o pH do solo estiver abaixo ou acima de suas necessidades individuais, independentemente da área geográfica. O conhecimento do solo em que se trabalha, assim como da cultura, é essencial para se atingir o pH ótimo e as necessidades reais de calcário⁽¹⁾.

COMO O CALCÁRIO REDUZ A ACIDEZ DO SOLO

Os processos e as reações pelos quais o calcário reduz a acidez do solo são muito complexos, mas uma simplificação mostrará como o calcário age.

Como foi mencionado anteriormente, o pH de um solo é uma expressão da atividade do íon hidrogênio. A principal fonte de hidrogênio, na maioria dos solos com pH menor que 5,5, é a reação do alumínio com a água, como mostrado na equação seguinte:



Essa reação libera H^+ (acidificação) que, por outro lado, aumenta a quantidade de Al^{3+} pronto para reagir novamente.

O calcário reduz a acidez do solo (aumenta o pH) convertendo alguns íons de hidrogênio em água. Acima de pH 5,5 o Al precipita como $\text{Al}(\text{OH})_3$ e, assim, sua ação tóxica e a principal fonte de H^+ são eliminadas.

A reação funciona assim: enquanto íons de cálcio (Ca^{2+}) do calcário substituem o alumínio (Al^{3+}) nos pontos de troca, o íon carbonato (CO_3^{2-}) reage com a solução do solo criando um excesso de íons hidroxila (OH^-) que, em seguida, reagem com o H^+ (excesso de acidez), formando água. O processo global é ilustrado na Figura 2-5.

Lembre-se de que o inverso desse processo também pode ocorrer. Um solo ácido pode tornar-se mais ácido se um programa de calagem não for seguido. À medida que íons básicos como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ são removidos, geralmente por absorção pelas culturas, eles podem ser substituídos por Al^{3+} . Estes íons básicos podem também ser perdidos por lixiviação, novamente sendo substituídos por Al^{3+} . A atividade do Al^{3+} aumentará continuamente,

⁽¹⁾ Mesmo em uma determinada área existe considerável variação quanto ao pH ótimo para o desenvolvimento das culturas. Por exemplo: em solos orgânicos, o pH desejável para a cultura de milho é cerca de uma unidade mais ácido do que em áreas bem drenadas, provavelmente pela ação da matéria orgânica em reduzir a atividade do alumínio na solução do solo.

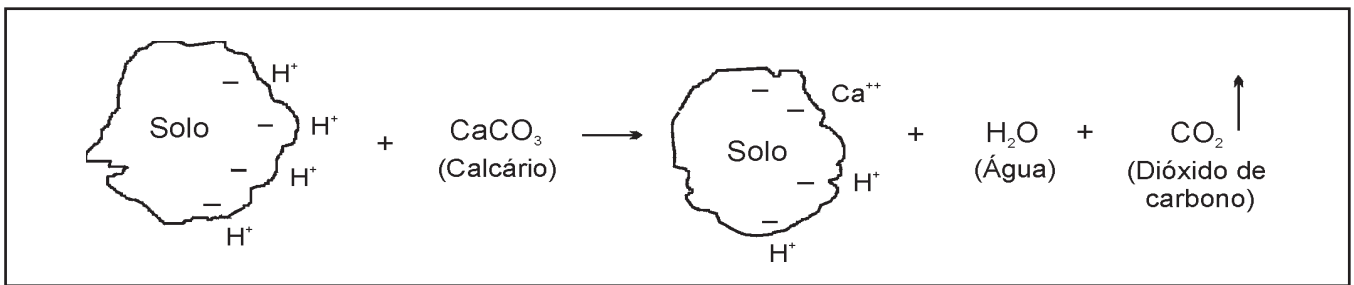


Figura 2-5. Como o calcário diminui a acidez.

abaixando o pH do solo, se não for feita a calagem adequada.

ÉPOCA E FREQUÊNCIA DAS APLICAÇÕES DE CALCÁRIO

Para rotações que incluem leguminosas, que demandam pH mais alto, o calcário deve ser aplicado três a seis meses antes da semeadura, especialmente em solos muito ácidos. A calagem feita poucos dias antes do plantio da alfafa ou do trevo, por exemplo, geralmente produz resultados decepcionantes, porque o calcário pode não ter tido tempo suficiente para reagir com o solo. Se uma leguminosa como o trevo será plantada após o trigo de outono, o calcário deve ser aplicado no plantio do trigo⁽¹⁾.

As formas cáusticas de calcário (óxido de cálcio e hidróxido de cálcio) devem ser espalhadas com bastante antecedência ao plantio para prevenir danos às sementes na germinação.

As afirmações generalizadas sobre a frequência da calagem são provavelmente inadequadas. Muitos fatores estão envolvidos. A melhor maneira para se determinar a necessidade de uma nova calagem é analisando-se o solo. As análises das amostras de solo devem ser feitas a cada três anos — mais frequentemente em solos arenosos e solos sob irrigação. Os seguintes fatores influenciarão a frequência da calagem:

- **Textura do solo** - Os solos arenosos precisam receber nova calagem com mais frequência do que os solos argilosos.
- **Dose de adubo nitrogenado** - Altas doses de adubos amoniacais geram considerável acidez.
- **Taxa de remoção pelas culturas** - Dependendo da cultura, produtividade e partes colhidas, quantidades substanciais de cálcio e magnésio podem ser removidas.

- **Quantidade de calcário aplicada** - Doses mais elevadas normalmente significam que o solo não necessita de nova calagem com frequência. Não faça "super-calagens".
- **Amplitude de pH desejada** - A manutenção de um pH alto geralmente significa que o calcário precisa ser aplicado com mais frequência do que quando um pH médio é satisfatório. Geralmente a amplitude de pH desejada não é atingida devido ao uso de subdoses de calcário, de calcário de partículas grosseiras ou à incorporação inadequada. As análises do solo podem monitorar as mudanças no pH em função da calagem.

SELEÇÃO DO MATERIAL CALCÁRIO — ASPECTOS DE QUALIDADE

Na seleção do material calcário, verifique seu valor neutralizante, seu grau de finura e sua reatividade. Onde o magnésio do solo for baixo ou deficiente, como em muitos solos altamente intemperizados dos trópicos, o teor deste nutriente no calcário deverá ser um fator determinante na seleção do material; isto é, deve-se usar calcário magnesiano ou dolomítico. Quando isto não é possível, o magnésio deve ser suprido de outra fonte.

O poder de neutralização de todos os materiais calcários é determinado pela comparação com o poder de neutralização do carbonato de cálcio puro ($CaCO_3$). Considerando-se o poder de neutralização do $CaCO_3$ como 100, o poder dos outros materiais pode ser determinado. Este valor é chamado de **poder relativo de neutralização** ou **equivalente de carbonato de cálcio**. O poder relativo de neutralização de vários materiais calcários comuns é mostrado na Tabela 2-7.

Quando uma certa quantidade de calcário é misturada com o solo, sua velocidade de reação e grau de

⁽¹⁾ Em qualquer sistema de cultivo com culturas anuais, mesmo em áreas que estão sendo preparadas para entrada no sistema de plantio direto, deve-se lembrar a importância de se fazer a distribuição do calcário com a devida antecedência, e bem incorporado ao solo. No caso do plantio de culturas perenes, estes cuidados devem ser ainda maiores, pois é a única oportunidade para incorporação profunda do calcário.

reatividade são determinados pelo tamanho das partículas. As partículas grosseiras de calcário reagem mais lenta e menos completamente. As partículas finas de calcário reagem com mais rapidez e muito mais completamente.

Tabela 2-7. Poder relativo de neutralização de vários materiais calcários.

Material calcário	Poder relativo de neutralização
Carbonato de cálcio	100
Calcário dolomítico	95-108
Calcário calcítico	85-100
Farinha de ostras cozidas	80-90
Margas	50-90
Cal viva	150-175
Farinha de ostras queimadas	90-110
Cal hidratada	120-135
Escórias básicas	50-70
Cinza de madeira	40-80
Gesso	Nenhum
Subprodutos	Variável

O custo do calcário aumenta com a finura do material moído. A meta é um material que necessite de um mínimo de moagem, mas que tenha suficiente material fino para causar uma rápida mudança no pH. Como resultado, os materiais calcários para a agricultura contêm tanto material grosseiro quanto material fino. Alguns Estados e países requerem que uma certa porcentagem do calcário passe em determinado tamanho de malha. Isto garante que o calcário será eficiente na neutralização da acidez. A importância do tamanho das partículas é mostrada na Figura 2-6.

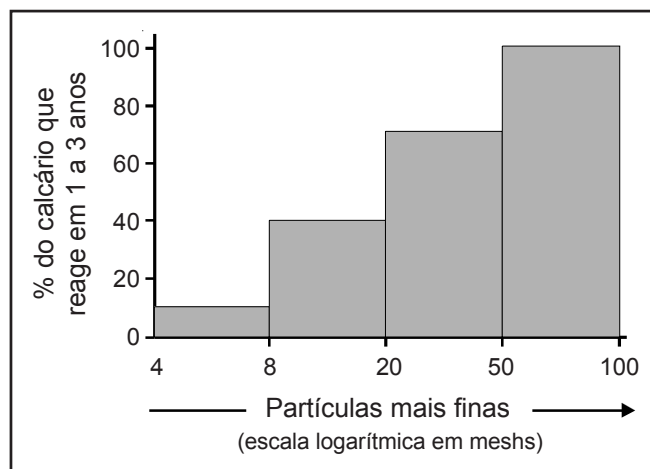


Figura 2-6. Relação entre o tamanho das partículas de calcário e sua reatividade ao longo do tempo.

Este gráfico ilustra a realidade da relação entre o tamanho das partículas de calcário e o seu grau de reatividade. As partículas maiores (4 a 8 mesh ou 6,35 a 3,17 mm) apresentam somente 10% de eficiência no período de estudo, de 1 a 3 anos. As partículas menores (50 a 100 mesh ou 0,5 a 0,25 mm) reagiram completamente.

Apesar da velocidade de reação depender do tamanho das partículas, do pH inicial e do grau de mistura no solo, a natureza química do material, por si, é uma consideração importante. Por exemplo, os óxidos e hidróxidos reagem mais rapidamente do que os carbonatos. De fato, a cal hidratada pode reagir tão rapidamente que chega a esterilizar parcialmente o solo. Se aplicada muito próximo à época de plantio, ela pode induzir a uma deficiência temporária de potássio, por causa do alto nível de cálcio. Podem ocorrer, em casos extremos, crescimento retardado e morte de algumas plantas.

Quando são necessários tanto o cálcio quanto o magnésio, deve-se usar materiais calcários que contêm ambos os nutrientes. Alguns calcários contêm quantidades iguais de carbonatos de cálcio e de magnésio, mas trabalhos de pesquisa mostram que cerca de 10% de $MgCO_3$ são suficientes para suprir o magnésio. A necessidade de calcários que contêm magnésio varia entre regiões. Em solos arenosos há mais probabilidade de deficiência deste nutriente.

LOCALIZAÇÃO DO CALCÁRIO

Outro fator importante, que determina a eficiência do calcário, é a sua localização. É essencial que a incorporação seja feita de modo a permitir o máximo contato com o solo da camada arável. Os materiais calcários mais comuns são apenas ligeiramente solúveis em água; assim sendo, é absolutamente necessária a incorporação para que ocorra a reação do calcário. Mesmo quando adequadamente misturado ao solo, o calcário terá pouco efeito sobre o pH se o solo estiver seco. A umidade é essencial para que o calcário reaja no solo.

Quando grandes quantidades de calcário são aplicadas em solos argilosos, a mistura fica mais bem feita aplicando-se uma parte antes da aração, e outra depois desta operação. Em solos arenosos, que podem ser preparados à profundidade de 10-15 cm, uma aplicação apenas, antes ou depois da gradagem, é suficiente.

Em alguns sistemas de cultivo, como as culturas perenes e as pastagens, a mistura somente pode ser feita antes da semeadura. Uma vez estabelecida a cultura, o calcário só poderá ser aplicado a lanço, em cobertura. O calcário aplicado à superfície reage lenta-

mente... e não tão completamente... quanto o calcário misturado com o solo. Assim sendo, estes campos devem receber nova calagem antes do pH descer a valores abaixo da amplitude desejada, a fim de evitar a acidez excessiva na zona radicular.

MATERIAIS CALCÁRIOS⁽¹⁾

Apesar de terem sido feitas referências aos materiais calcários nas seções anteriores, são apresentadas, a seguir, descrições sucintas do óxido de cálcio; hidróxido de cálcio; calcários calcítico, magnesiano e dolomítico; calcário calcinado; margas e escórias.

- **Óxido de cálcio (CaO)** - Também conhecido como cal viva, cal virgem ou calcário rápido, o CaO é um pó branco, muito desagregável na mão. É fabricado pela queima de calcário calcítico em fornos e sua pureza depende da matéria-prima. Quando adicionado ao solo, ele reage quase imediatamente, de modo que, quando se desejam resultados rápidos, o CaO ou o hidróxido de cálcio são ideais. Deve ser completamente misturado ao solo, pois empedra rapidamente e pode tornar-se ineficiente.
- **Hidróxido de cálcio [Ca(OH)₂]** - Frequentemente chamado de cal apagada, cal hidratada ou cal de construção, o Ca(OH)₂ é uma substância branca, pulverulenta, difícil e desagradável de manusear. A neutralização ocorre rapidamente quando é adicionado ao solo. É preparado através da hidratação do CaO.
- **Calcário calcítico (CaCO₃), calcário magnesiano e calcário dolomítico [CaMg(CO₃)₂]** - Existem vários depósitos de calcário calcítico, magnesiano e dolomítico de alta qualidade no mundo. Eles são mais comumente explorados em mineração a céu aberto. Sua qualidade depende das impurezas – tais como argila – que eles contêm. Seu poder de neutralização (equivalente em CaCO₃) usualmente varia de 65 a 70% a pouco mais de 100%. São produtos apenas moídos, para posterior utilização.
- **Calcário calcinado** - Os calcários calcinados, que tanto podem ser calcíticos, magnesianos ou dolomíticos, são produtos muito comercializados em algumas regiões do Brasil. São fabricados pela calcinação das rochas em fornos e posterior moagem. O grau de calcinação pode ser total ou parcial, o que dá ao produto final diferentes graus de poder relativo de neutralização total.

- **Margas** - Margas são depósitos moles, não consolidados, de CaCO₃, que ocorrem em muitas áreas. A espessura dos depósitos pode atingir até 10 m. Estes depósitos são explorados através de sistemas de dragas ou pás mecânicas após a remoção do material superficial não aproveitável. As margas são quase sempre pobres em magnésio, e seu poder de neutralização está inversamente relacionado com a quantidade de argila presente.
- **Escórias** - Vários tipos de materiais são classificados como escórias. A escória de siderurgia é um subproduto da fabricação do ferro gusa. A escória básica é um produto de um método de fabricação do aço a partir do ferro gusa. As escórias básicas são geralmente aplicadas pelo seu teor de fósforo, ao invés do seu valor como material corretivo. As escórias de forno elétrico resultam da redução, em um forno elétrico, do fosfato de rocha na preparação do fósforo elementar. É um resíduo, geralmente comercializado a baixo preço dentro de um raio limitado em torno do local de produção.
- **Poeira calcária** - Poeira calcária é um subproduto da produção de cimento e contém uma mistura de compostos incluindo óxido de cálcio (CaO), carbonato de cálcio (CaCO₃), óxido de potássio (K₂O), carbonato de potássio (K₂CO₃) e outros materiais. O material é muito fino e difícil de manusear. Com partículas finas, entretanto, é um produto ideal para ser usado em suspensões fluidas. A presença de óxidos, contudo, pode levar o pH das suspensões a cerca de 12.
- **Outros materiais** - Um grande número de subprodutos industriais pode conter quantidades consideráveis de materiais calcários. Estes produtos devem ser analisados antes de seu uso, quanto a teores de elementos ou compostos que podem causar danos ao ambiente.

SOLOS COM pH ELEVADO: CALCÁRIOS, SALINOS E SÓDICOS

Muitos solos em climas áridos apresentam pH elevado que pode afetar suas propriedades e influenciar na produtividade das culturas. Obviamente, eles não necessitam calcário, mas seu pH elevado afeta a disponibilidade de nutrientes, a fertilidade do solo e o manejo de fertilizantes.

- **Solos calcários** - contém CaCO₃ livre, calcário não dissolvido... com valores de pH na amplitude de 7,3 a 8,4. A presença de calcário livre influencia algumas práticas de manejo tais como o uso

⁽¹⁾ As reservas brasileiras de rochas calcárias são estimadas em 13,6 x 10⁶ t, com uma distribuição espacial bastante razoável em relação às áreas agricultáveis do país.

de herbicidas, a localização do fósforo (por causa da fixação) e a disponibilidade de micronutrientes, particularmente o ferro. A diminuição do pH em solos calcários comumente não é econômica. Com manejo adequado, estes são alguns dos solos mais produtivos.

- **Solos salinos** – contém sais em quantidades suficientemente altas para limitar o crescimento das culturas porque não podem absorver água suficiente para suas funções. As plantas que crescem em solos salinos em geral exibem murchamento, mesmo quando o teor de água no solo é adequado. O grau de salinidade é medido no laboratório como condutividade elétrica (CE). Os solos salinos podem ser recuperados pela lixiviação dos sais para fora da região das raízes usando-se água de boa qualidade. Uma vez que as culturas apresentam diferenças quanto à tolerância ao teor de sais, a melhor prática de manejo (MPM) é selecionar aquelas culturas que são conhecidas como tolerantes a sais. A Tabela 2-8 compara algumas culturas em relação à tolerância à salinidade. Estes solos usualmente apresentam pH menor que 8,5.
- **Solos sódicos** – contém quantidade excessiva de sódio (Na) nos pontos de troca da CTC. Os solos são usualmente classificados como sódicos se a saturação em Na exceder 15% da CTC. Eles normalmente têm pH 8,5 ou acima. O excesso de sódio provoca a dispersão do solo, limitando o movimento

Tabela 2-8. Tolerância de algumas culturas comuns à salinidade do solo.

	Nível de tolerância		
	Bom	Moderado	Pobre
Cevada	Cereais		Maioria dos trevos
Beterraba açucareira	Milho		Feijão
Canola (colza)	Alfafa		Aipo
Algodão	Centeio		Maçã
Gramma bermuda	Trevo doce		Citros
			Pêssego

de ar e água por causa das más propriedades físicas. A água tende a formar poças nos solos sódicos. Tais solos podem ser recuperados substituindo o sódio do complexo da CTC por cálcio. O gesso (sulfato de cálcio) é o produto mais comum usado para essa finalidade. O enxofre elementar pode ser usado se o solo é calcário. O sucesso na recuperação destes solos exige que o sódio seja lixiviado para fora da zona de raízes, e a pouca movimentação da água pode tornar esta tarefa difícil. O preparo profundo e/ou a aplicação de esterco têm sido usados para melhorar o movimento interno da água. Algumas vezes os solos sódicos são também salinos. Solos salinos/sódicos são tipicamente caracterizados por uma saturação em Na maior que 15% da CTC, alta condutividade elétrica e um pH de 8,4 ou menos. A recuperação desses solos é idêntica àquela dos solos sódicos. ■

CAPÍTULO 2 REAÇÃO DO SOLO E CALAGEM

PERGUNTAS DE REVISÃO

1. O pH do solo é uma medida da atividade de _____ e é expresso em termos de _____.
2. (C ou E) Um solo com pH 7,5 é de reação básica.
3. (C ou E) Um solo com pH 7,0 é de reação ácida.
4. Um solo com pH 5,0 é _____ vezes mais ácido do que um solo com pH 7,0.
5. Os solos formados sob condições de alta pluviosidade são (mais, menos) ácidos do que aqueles formados sob condições áridas.
6. (C ou E) As plantas crescendo durante a formação do solo influenciam o pH.
7. As leguminosas geralmente contêm (mais, menos) cálcio e magnésio do que as gramíneas.
8. (C ou E) Na maioria dos casos, a erosão do solo resulta em diminuição do pH.
9. (C ou E) A inundação não tem efeito no pH de solos ácidos ou básicos.
10. Os métodos mais comumente usados para a medição do pH do solo são _____ e _____. O _____ é mais exato.
11. A necessidade de calcário está relacionada com _____ e capacidade _____.
12. _____ é uma medida da resistência de um solo a mudanças do pH.
13. (C ou E) A capacidade tampão é maior em solos arenosos do que em solos argilosos.
14. (C ou E) Em solos ácidos dos trópicos, com altos teores de óxido de Fe e de Al, a calagem a valores de pH neutro pode causar decréscimo na produção.
15. (C ou E) O pH ácido do solo aumenta a performance da maioria dos herbicidas a ele aplicado.
16. O fósforo é (mais, menos) disponível no pH 6,0 do que no pH 7,5.
17. (C ou E) Solos ácidos são ruins para todas as culturas.
18. Quais das seguintes culturas crescem melhor na amplitude do pH 6,0-6,5: milho, alfafa, trigo, soja, melancia?
19. (C ou E) Arroz de sequeiro, mandioca, abacaxi e leguminosas de cobertura como Centrosema podem tolerar alta saturação de Al nos solos.
20. O calcário aumenta o pH do solo convertendo íons H^+ em _____.
21. (C ou E) Os solos ácidos devem receber nova calagem a cada cinco anos.
22. Para fornecer ambos, cálcio e magnésio, deve-se usar o calcário _____ ou _____.
23. Para rotações que incluem leguminosas, o calcário deve ser aplicado de _____ a _____ meses antes da época de semeadura.
24. O melhor método para se determinar a frequência de novas aplicações de calcário é _____.
25. (C ou E) A textura do solo e a adubação nitrogenada influenciam a frequência da calagem.
26. Um material calcário deve ser selecionado com base no seu poder _____, grau de _____ e _____.

27. _____ é o poder de neutralização de um material calcário comparado ao do CaCO_3 puro.
28. (C ou E) A escória básica possui maior poder de neutralização do que o CaCO_3 .
29. (C ou E) Todo calcário deve ser moído de modo a se obterem somente partículas de tamanho muito pequeno.
30. Quais os materiais calcários que reagem mais rapidamente, os óxidos ou os carbonatos?
31. (C ou E) A aplicação a lanço em cobertura, em culturas permanentes e pastagens, é mais eficiente do que a incorporação do calcário no solo antes do estabelecimento da cultura.
32. O óxido de cálcio (CaO) é também chamado de cal _____, cal _____ ou calcário _____.
33. O poder de neutralização dos calcários agrícolas (calcítico, magnesiano e dolomítico) geralmente varia de _____% a mais de _____%.
34. Solos _____ contêm carbonato de cálcio livre.
35. (C ou E) Solos salinos possuem altos teores de Na.
36. Espécies tolerantes à salinidade incluem _____, _____, _____, _____ e _____.
37. Solos sódicos contêm grandes quantidades de _____.
38. (C ou E) O gesso é usado para recuperar solos sódicos.

CAPÍTULO 3

NITROGÊNIO

	Página
• Um nutriente essencial para as plantas	37
• O nitrogênio tem muitas funções nas plantas	37
• Sintomas da deficiência nas plantas	38
• O nitrogênio e a eficiência no uso da água	38
• O nitrogênio no solo e no ar	41
• Mineralização e imobilização do N	41
• Nitrificação e desnitrificação	42
• Estabilizando o nitrogênio no solo	43
• Fixação do nitrogênio	43
• Perdas de nitrogênio	44
• Como o nitrogênio afeta a acidez do solo	45
• Fontes de nitrogênio	46
• Perguntas de revisão	49

UM NUTRIENTE ESSENCIAL PARA AS PLANTAS

O **NITROGÊNIO (N)** é essencial para o crescimento das plantas, pois é parte de cada célula viva. As plantas exigem grandes quantidades deste nutriente (Tabela 3-1).

Tabela 3-1. As culturas apresentam alta exigência em nitrogênio.

Cultura	Produtividade (t/ha)	Quantidade de N na cultura total (kg)
Alfafa*	18,0	500
Algodão (fibra)	1,7	200
Amendoim*	4,5	270
Arroz	7,8	125
Cacau (sementes)	1,5	450
Cana-de-açúcar	112,0	235
Café (grãos verdes)	3,2	500
Capim napier	28,0	340
Gramma bermuda	18,0	410
Laranja	60,0	300
Mandioca	40,0	260
Milho	10,0	240
Soja*	4,0	350
Sorgo granífero	8,4	250
Tomate	90,0	260
Trigo	4,0	130

* As leguminosas retiram a maior parte do seu nitrogênio do ar.

O NITROGÊNIO TEM MUITAS FUNÇÕES NAS PLANTAS

As plantas geralmente absorvem (e transportam) a maior parte de suas exigências em nitrogênio nas formas de amônio (NH_4^+) ou nitrato (NO_3^-). Pode ocorrer alguma absorção direta de uréia pelas folhas, e pequenas quantidades de nitrogênio são obtidas de materiais como os aminoácidos solúveis em água.

À exceção do arroz, a maioria das culturas absorve a maior parte do seu nitrogênio na forma de nitrato (NO_3^-). A pesquisa, entretanto, demonstrou que as culturas utilizam quantidades substanciais de amônio (NH_4^+), se ele estiver presente no solo.

Certos híbridos de milho têm uma alta exigência de amônio, que ajuda a alcançar altas produções. O trigo também tem mostrado benefícios da nutrição com nitrogênio amoniacal. Um motivo para este fato é que a redução do nitrato na planta requer energia (NO_3^- é reduzido a NH_4^+ , que então é transformado em aminoácidos dentro da planta). A energia para esse processo é fornecida pelos carboidratos que poderiam, de outra forma, ser usados para o crescimento ou formação de grãos.

O nitrogênio é necessário para a síntese da clorofila e, como parte da molécula da clorofila, está envolvido na fotossíntese. Falta de nitrogênio e clorofila significa que a planta não irá utilizar a luz do sol como fonte de energia para levar a efeito funções essenciais como a absorção de nutrientes. O nitrogênio é um componente

de vitaminas e do sistema enzimático da planta. Ele é também um componente essencial dos aminoácidos, os quais formam as proteínas. Em consequência, o nitrogênio é responsável direto pelo aumento do teor de proteína (ver Conceito de Produção 3-1 para aprender como o nitrogênio aumenta o teor de proteína — um lucro extra das culturas).

SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA NAS PLANTAS

O nitrogênio em nível adequado produz uma cor verde escura nas folhas, devido a uma alta concentração de clorofila. A deficiência de nitrogênio causa a clorose (um amarelecimento) das folhas, pela diminuição da clorofila. Este amarelecimento começa primeiro nas folhas mais velhas, e então aparece nas folhas jovens, à medida que a deficiência torna-se mais severa.

Os pigmentos verdes na clorofila absorvem a energia luminosa necessária para iniciar o processo da fotossíntese. A clorofila ajuda a converter o carbono, o hidrogênio e o oxigênio em açúcares simples. Estes açúcares e seus produtos de conversão ajudam a estimular mais aumentos no crescimento das plantas.

Um crescimento lento e plantas “atarracadas” são também indicações de deficiência de nitrogênio. Culturas de pequenos grãos e outras plantas graminóides perfilham menos quando há deficiência de nitrogênio.

Um teor inadequado de nitrogênio conduz a baixos níveis de proteínas nas sementes e nas partes vegetativas. As plantas deficientes usualmente têm menos folhas, e certas culturas como o algodão podem atingir a maturidade mais cedo do que plantas supridas com adequado nitrogênio.

O milho, adequadamente adubado com nitrogênio, terá menor porcentagem de água nos grãos do que o milho suprido de modo insuficiente com este nutriente.

O nitrogênio é, algumas vezes, considerado responsável por atraso na maturação. O excesso de nitrogênio pode aumentar o crescimento vegetativo, reduzir a formação dos frutos e afetar, de maneira adversa, a qualidade da produção. O atraso na maturação, entretanto, é usualmente resultado da deficiência de outros nutrientes, não de nitrogênio.

O NITROGÊNIO E A EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA

(ver Conceito de Produção 3-2)

Sempre que um elemento ausente ou deficiente aumenta a produção quando é aplicado, a eficiência no uso da água também aumenta. Na Tabela 3-2 o nitrogênio mais que dobrou a produção de milho, com a mesma quantidade de água, em solo franco-arenoso. Com o aumento da dose de nitrogênio de 112 para 224 kg/ha houve adição de 4.143 kg/ha à produção. A aplicação da dose de 224 kg/ha em oito parcelas de 28 kg, ao invés de em apenas uma aplicação, aumentou 2.135 kg/ha na produção. A Tabela 3-2 mostra que mais nitrogênio, na época exata, dobra a produção de milho com a mesma quantidade de água⁽¹⁾.

Tabela 3-2. Mais nitrogênio no momento correto dobra a produção de milho com a mesma quantidade de água.

N (kg/ha)	Modo de aplicação/época	Produção (t/ha)	kg de milho/kg de N
0		2,7	-
112	a) no plantio	5,8	27,5
	b) 4 x 28 kg/ha aplicados por irrigação	9,7	62,2
224	a) no plantio	9,9	32,2
	b) 8 x 28 kg/ha aplicados por irrigação	12,1	41,7

Minnesota, EUA

O nitrogênio aumentou a produção de milho por mm de água disponível, independentemente da quantidade de água. Os 168 kg de nitrogênio produziram mais de 2 kg por mm de água sob condições úmidas, e quase 2,75 kg a mais por mm de água no ano seco, como pode ser visto na Tabela 3-3.

Tabela 3-3. O nitrogênio aumentou a produção de milho tanto em época úmida como em seca.

Dose de N kg/ha	Produção de grãos (t/ha)		Eficiência no uso da água (kg/mm H ₂ O)	
	Seca	Úmida	Seca	Úmida
0	4,7	6,0	4,82	4,68
168	7,2	9,5	7,48	6,98
Resposta ao N	2,5	3,5	-	-

Colorado, EUA

No Arizona, o nitrogênio aumentou até 1,8 kg de trigo por mm de água. No Texas, o nitrogênio ajudou a produzir 2,8 kg a mais de sorgo por mm de água usada (Tabela 3-4).

⁽¹⁾ A forma mais correta para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada é o parcelamento da mesma. O número mais adequado de aplicações vai depender da cultura, do tipo de solo e da quantidade e intensidade das chuvas.

CONCEITO DE PRODUÇÃO 3-1

NITROGÊNIO: O CONSTRUTOR DA PROTEÍNA



A AGRONOMIA é, hoje, o maior diplomata no mundo. Por que? Porque os princípios agronômicos produzem suprimentos adequados de alimentos, inclusive proteína, que é vital para a saúde humana e dos animais.

Assumindo uma média de 40 gramas de proteína por pessoa, por dia, para a população da Terra, o consumo anual deveria ser de aproximadamente 80 milhões de toneladas de proteína. Esta proteína atinge a mesa do consumidor diretamente dos vegetais ou por

meio dos animais, aves ou peixes, que consomem plantas contendo proteínas.

Estes dados são claros. Nós vivemos em mundo com fome de proteína. A chave para a produção de proteína é a adubação nitrogenada.

O nitrogênio aumenta diretamente o teor de proteína nas plantas. Teores adequados de potássio e fósforo aumentam a capacidade das plantas de utilizar altas doses de nitrogênio para produzir mais a verdadeira proteína e melhorar a qualidade dos produtos.

A ADUBAÇÃO COM N AUMENTA O TEOR DE PROTEÍNA

Em capim Guiné, interagindo com K (2 anos de produção)

N-K ₂ O kg/ha	Matéria seca, t/ha	Proteína bruta, %	Proteína bruta, t/ha
0-0	10,8	9,57	1,0
0-291	11,2	9,34	1,0
362-0	14,6	12,07	1,8
770-0	16,1	15,50	2,5
753-750	34,1	10,37	3,5

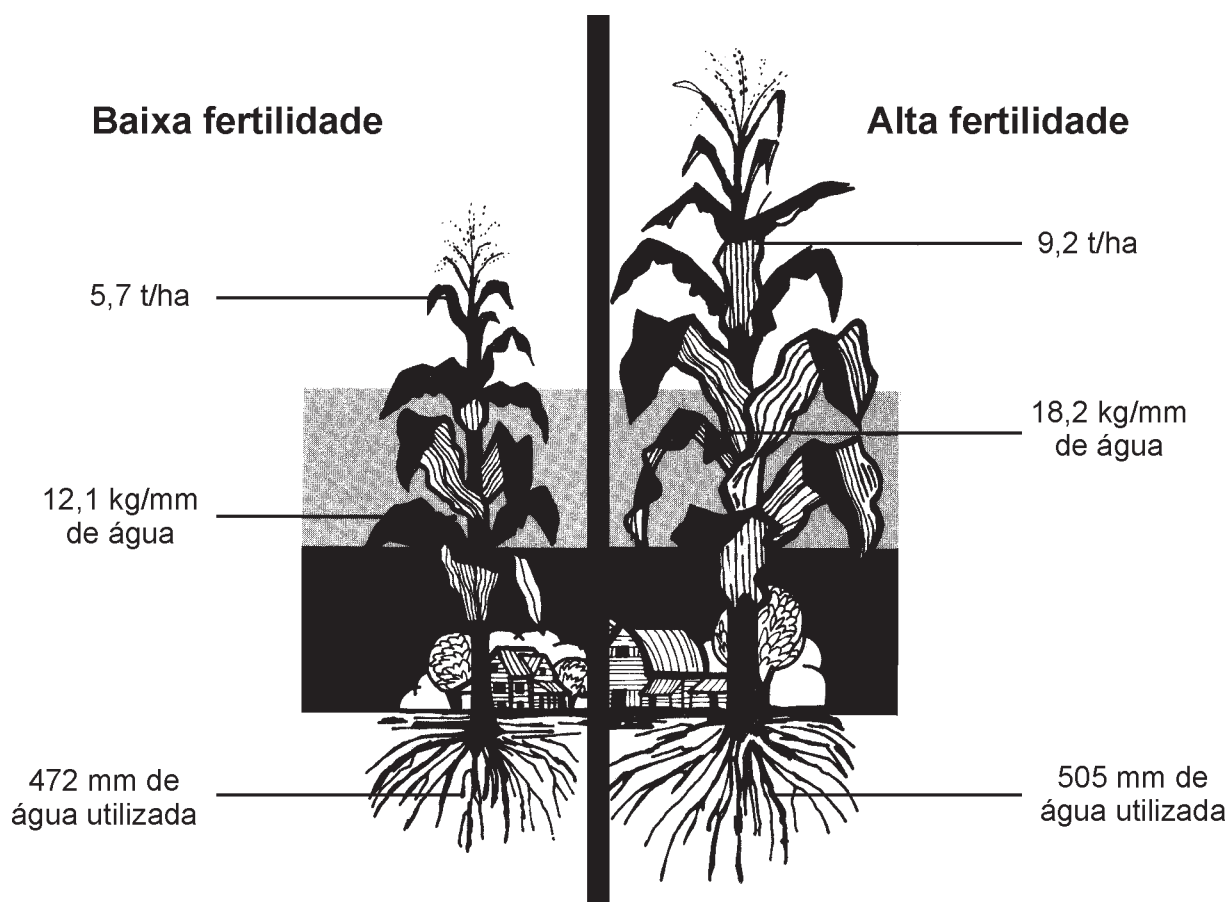
Em milho

Nitrogênio kg/ha	Produção t/ha	Proteína %	Proteína t/ha
0	7,3	8,0	0,6
90	10,0	8,5	0,8
180	11,5	9,5	1,1

Em trigo de inverno

Nitrogênio kg/ha	Produção de grãos, t/ha	Proteína no grão, %
0	2,4	11,1
34	2,9	12,6
67	3,0	13,6
100	3,3	14,0

OS FERTILIZANTES MELHORAM A UTILIZAÇÃO DA ÁGUA



A MELHOR COISA DEPOIS DA CHUVA... disto é que tem sido chamado o fertilizante. Ele merece esta honraria. POR QUE? Porque:

- O fertilizante ajuda a produzir mais por mm de chuva, como mostrado acima;
- O fertilizante ajuda as raízes a se aprofundarem para encontrar água no subsolo;
- Os sistemas radiculares mais profundos absorvem mais nutrientes e umidade;
- O fertilizante cria, mais rapidamente, uma cobertura vegetal mais espessa para evitar a evaporação da água;
- A boa cobertura vegetal diminui o escoamento superficial e faz com que o solo fique mais úmido;
- O fertilizante ajuda as culturas a terem um crescimento inicial mais rápido, sombreando as ervas daninhas que roubam a umidade.

OS MAIORES AUMENTOS DE PRODUÇÃO DECORRENTES DO USO DE FERTILIZANTES, EM TERMOS PORCENTUAIS, OCORREM FREQUENTEMENTE EM ANOS SECOS.

Tabela 3-4. O nitrogênio produz mais sorgo granífero por mm de água.

Dose de N kg/ha	Sorgo granífero (média de 3 anos)	
	Produção t/ha	Eficiência no uso da água kg grãos/mm H ₂ O
0	5,1	3,39
134	7,8	5,87
268	8,1	6,23

Texas, EUA

O NITROGÊNIO NO SOLO E NO AR

A quantidade de nitrogênio em forma disponível no solo é pequena. Muito pouco é encontrado nas rochas e nos minerais que formaram os solos. Quase todo o nitrogênio do solo é proveniente da atmosfera da Terra, a qual contém um suprimento quase ilimitado. Cerca de 80% do ar que respiramos é composto por nitrogênio. Cada hectare da superfície da terra é coberto por cerca de 84.000 toneladas de nitrogênio, mas este é um gás inerte. Ele precisa ser combinado com outros elementos antes que as plantas possam usá-lo.

Uma certa quantidade de nitrogênio ocorre no solo em três formas principais:

- N orgânico... parte da matéria orgânica do solo... não disponível para a planta em crescimento.
- N amoniacal... fixado pelos minerais argilosos... muito lentamente disponível para as plantas.
- Íons de amônio e nitrato ou compostos solúveis... o N que as plantas usam. N inorgânico.

MINERALIZAÇÃO E IMOBILIZAÇÃO DO N

O solo contém uma proporção relativamente grande de **nitrogênio não disponível (orgânico)** e uma pequena proporção de **nitrogênio disponível (inorgânico)**, como ilustrado na Figura 3-1.

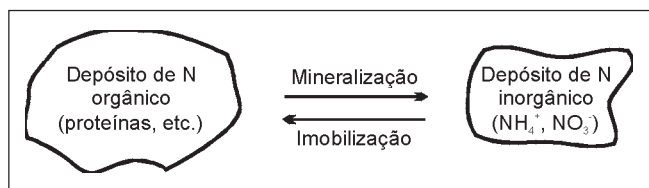


Figura 3-1. A maior parte do N do solo está no depósito orgânico e não está prontamente disponível para o uso pelas plantas.

O nitrogênio orgânico pode representar 97-98% do nitrogênio total do solo. O nitrogênio inorgânico geralmente representa somente 2-3%. Conseqüentemente, o processo pelo qual as formas orgânicas são convertidas em formas disponíveis é importante para o cresci-

mento das plantas. Este processo é chamado de **mineralização**. Ele ocorre à medida que os microrganismos decompõem materiais orgânicos para seu suprimento de energia. Com a decomposição da matéria orgânica, os organismos usam alguma energia liberada mais uma parte dos nutrientes essenciais da matéria orgânica. Quando os organismos usaram todos os nutrientes de que eles necessitavam, o excesso (tal como o nitrogênio) é liberado dentro do solo para o crescimento da planta.

O nitrogênio também pode ser convertido da forma inorgânica para a forma orgânica, como é mostrado pela seta dupla. Este processo é chamado de **imobilização**. Ele é o reverso da mineralização. A imobilização ocorre quando resíduos de culturas, com alto teor de carbono e baixo de nitrogênio, são incorporados ao solo.

À medida que os microrganismos decompõem vigorosamente os suprimentos de energia frescos (resíduos de culturas), eles necessitam do nitrogênio para “construir” proteínas para os tecidos do corpo. A menos que os resíduos sejam relativamente ricos em nitrogênio, os organismos retiram o nitrogênio inorgânico do solo para obter o que necessitam. Assim, o nitrogênio mineral do solo é convertido em nitrogênio orgânico nas proteínas dos micróbios, que não é disponível para o crescimento das plantas. Mas grande parte deste nitrogênio volta à forma disponível, à medida que os corpos dos microrganismos se decompõem.

A mineralização e a imobilização ocorrem simultaneamente nos solos. A mudança no solo em direção ao depósito orgânico ou inorgânico depende grandemente da relação carbono/nitrogênio (C/N) dos materiais em decomposição. Os materiais com relação C/N alta (acima de 30:1) favorecem a imobilização. Materiais com relação C/N baixa (menos de 20:1) favorecem uma mineralização mais rápida. Em relações C/N na amplitude de 20 a 30:1, os dois processos praticamente se igualam.

A Tabela 3-5 mostra a relação C/N de materiais orgânicos selecionados.

Tabela 3-5. Relação carbono/nitrogênio de materiais orgânicos selecionados.

Material	Relação C/N
Solo inalterado	10:1
Alfafa	13:1
Esterco	20:1
Colmos de milho	60:1
Colmos de culturas de pequenos grãos	80:1
Carvão e óleo mineral	124:1
Carvalho	200:1
Abeto vermelho	1.000:1

Quando a imobilização do nitrogênio do solo excede a mineralização, pode praticamente não haver nitrogênio disponível para as culturas em crescimento, **a não ser que fertilizantes nitrogenados tenham sido aplicados em uma faixa próxima às raízes**. Isto é chamado de **período de depressão de nitrato**. É um período crítico para as culturas. A sua duração depende de três fatores: (1) da relação C/N do material em decomposição; (2) da quantidade de resíduo da cultura adicionada ao solo; (3) das condições ambientais do solo. Com a adição de mais resíduos de culturas, em geral há aumento no período. O fornecimento adequado de nitrogênio geralmente encurta o período. Para evitar o problema ou evitar o seu impacto, deve-se incorporar bem os resíduos antes do plantio da cultura subsequente e permitir a decomposição prévia dos mesmos.

NITRIFICAÇÃO E DESNITRIFICAÇÃO

O produto inicial da decomposição da matéria orgânica (mineralização) é o amônio, NH_4^+ , resultante da fragmentação de proteínas, aminoácidos e outros compostos. A conversão de substâncias mais complexas em amônio é chamada **amonificação**.

Sob condições que favorecem o crescimento das plantas, grande parte do nitrogênio amoniacal do solo será convertida em nitrogênio nítrico por certas bactérias nitrificadoras. Este processo é chamado **nitrificação** (Figura 3-2). Ele é importante por três razões fundamentais:

- O nitrato é prontamente disponível para o uso pelas culturas e microrganismos. Os organismos também usam NH_4^+ sob condições de boa aeração.
- Os nitratos são extremamente móveis no solo. Eles movimentam-se livremente com a água do solo. Assim sendo, muito nitrogênio nítrico pode ser lixiviado através do perfil do solo — mais em solos arenosos profundos do que em solos de textura argilosa, com drenagem moderada e alta pluviosidade. O manejo do nitrogênio, entretanto, pode controlar a lixiviação para o lençol freático e aumentar a produtividade.

- Os nitratos podem ser perdidos por **desnitrificação**, um processo pelo qual os nitratos são reduzidos a óxido nitroso (N_2O) ou N elementar (N_2) e perdidos para a atmosfera na forma de um gás.

A Tabela 3-6 mostra que dividindo-se a adubação nitrogenada em três aplicações aumentou-se a produção relativa em 31%. Isto significa que menos nitrogênio permaneceu no solo após a colheita.

Tabela 3-6. Efeito do parcelamento da adubação nitrogenada na produção relativa e teor de proteína no milho.

Dose de N kg/ha	Produção relativa %	Proteína %
0	39	8,31
120	69	8,44
40 + 40 + 40	100	9,19

Brasil

A desnitrificação normalmente ocorre em solos com alto teor de matéria orgânica, que permanecem por muito tempo sob condições de alagamento (ausência de O_2), e conforme a temperatura se eleva.

Cinco condições do solo parecem ter maior influência nos processos de nitrificação e desnitrificação:

- **pH do solo** - As taxas de nitrificação são geralmente baixas em solos ácidos. Ela pode ocorrer numa amplitude de pH de 4,5 a 10,0, mas o pH ótimo é de 8,5. A calagem em solos fortemente ácidos beneficia as bactérias nitrificadoras. A calagem tem sido responsável pelo aumento da desnitrificação sob certas condições.
- **Umidade** - As bactérias nitrificadoras permanecem ativas sob condições muito secas, mas inativas em solos inundados. Os solos com umidade suficiente para o crescimento das plantas terão umidade suficiente para uma nitrificação normal. Os solos encharcados não contêm oxigênio suficiente para suprir as bactérias nitrificadoras. Como resultado, muito pouco nitrato será produzido. Quando o oxigênio é excluído do solo, pode ocorrer a desnitrificação por ação das bactérias. Isto pode diminuir rapidamente o teor de nitrogênio.

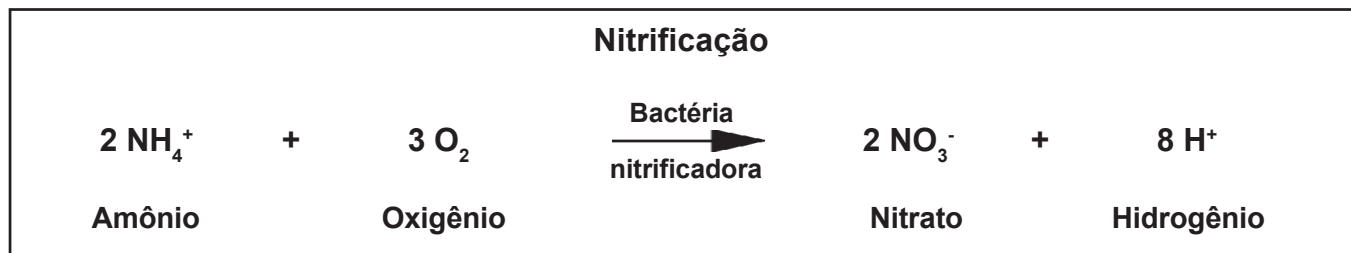


Figura 3-2. O amônio reage com o oxigênio, na presença de bactérias nitrificadoras, para produzir nitrato. Íons de hidrogênio são também liberados, aumentando a acidez do solo.

- **Temperatura** - A nitrificação começa lentamente, logo acima da temperatura de congelamento, e continua a aumentar à medida que a temperatura do solo aumenta até cerca de 30°C. Acima de 30°C a velocidade decresce. As taxas de desnitrificação também aumentam com os aumentos da temperatura do solo.
- **Aeração** - A nitrificação requer oxigênio. Solos bem aerados, de textura média a arenosa, têm mais oxigênio e aceleram a nitrificação, pela boa drenagem e movimento do ar entre o solo e a atmosfera, acima do nível do solo.
- **Resíduos de culturas** - A desnitrificação ocorre à medida que as bactérias do solo oxidam os resíduos orgânicos. Grandes quantidades de resíduos combinadas com baixo suprimento de oxigênio no solo aumentam as reações de desnitrificação e perdas de nitrogênio.

ESTABILIZANDO O NITROGÊNIO NO SOLO

Todos os principais fertilizantes nitrogenados comercializados são altamente solúveis quando aplicados ao solo. As fontes orgânicas como os esterco animais, os resíduos das culturas e das plantas de cobertura liberam, à medida que se decompõem, nitrogênio solúvel. Se não forem utilizadas pela cultura em crescimento, todas as formas nitrogenadas dos fertilizantes são convertidas em nitratos. Na forma de nitrato, o nitrogênio está sujeito a perdas por erosão, lixiviação e desnitrificação.

Na forma de amônio, o nitrogênio é estável no solo, sendo retido nos pontos de troca da CTC nas argilas e matéria orgânica. Existem boas razões para manter o nitrogênio nesta forma (NH_4^+), pelo menos até próximo ao momento que a cultura necessita dele.

- O nitrogênio amoniacal não é sujeito à lixiviação e, assim, o potencial de movimento para o lençol freático é mínimo ou é eliminado.
- Alguns híbridos de milho, trigo, algodão e outras culturas produzem mais quando recebem uma mistura de NO_3^- e NH_4^+ .
- O nitrogênio do solo não está sujeito à desnitrificação quando na forma amoniacal.

Um ponto importante, em relação ao manejo de fertilizantes nitrogenados, é aplicar as fontes e doses adequadas, adubar com nitrogênio para maior eficiência de uso e fazer a aplicação nos períodos de maior demanda pelas culturas. É difícil ou mesmo impossível, algumas vezes, fazer isso tudo. Entretanto, com o uso de **inibidores da nitrificação** ou utilizando **fertilizantes de liberação lenta** (disponibilidade controlada), pode-se aumentar, de modo significativo, a eficiência no uso do nitrogênio.

- **Inibidores da nitrificação** - Estes produtos simplesmente bloqueiam a conversão de NH_4^+ para NO_3^- , desativando as bactérias nitrificadoras por vários períodos de tempo, algumas vezes até três meses. Os resultados são variáveis, mas respostas em produção de até 50% têm sido obtidas, usando bons inibidores de maneira correta. O maior benefício em potencial do uso desses inibidores da nitrificação é quando da aplicação de nitrogênio no outono ou no início da primavera em solos arenosos, em solos mal drenados ou com alta intensidade e quantidade de chuvas.
- **Nitrogênio de liberação lenta** - Os fertilizantes com uréia-formaldeído são fabricados reagindo a uréia com o formaldeído para formar compostos pouco solúveis em água. O custo desses produtos geralmente é proibitivo para o uso em culturas comuns; seu uso principal é em gramados, campos de golfe e outras culturas especiais. Uréia revestida com enxofre é outro tipo de fertilizante de disponibilidade controlada.

FIXAÇÃO DO NITROGÊNIO

Quando o nitrogênio atmosférico combina-se com o hidrogênio e o oxigênio ocorre um processo chamado **fixação**. Este processo precisa ocorrer antes do nitrogênio poder ser usado pelas plantas. A fixação pode se dar de diversos modos:

- **Biológica** - A fixação biológica pode ser **simbiótica** ou **não simbiótica**. A fixação simbiótica de nitrogênio refere-se a microrganismos que fixam o nitrogênio enquanto crescem em associação com a planta hospedeira. O processo beneficia a ambos, organismos e planta. O exemplo mais amplamente conhecido é a associação entre a bactéria *Rhizobium* e as raízes das leguminosas. A bactéria forma nódulos nas raízes. A bactéria nestes nódulos fixa nitrogênio da atmosfera e o torna disponível para a leguminosa. As leguminosas fornecem os carboidratos, que dão à bactéria a energia para fixar o nitrogênio. Que quantidade de nitrogênio as bactérias das leguminosas podem fixar? As estimativas variam de uns poucos quilos a até 560 kg/ha.ano. Alguns valores comumente aceitos são mostrados na Tabela 3-7.

Tabela 3-7. Estimativas da fixação anual de nitrogênio por várias leguminosas.

Leguminosa	N fixado, kg/ha.ano
Alfafa	220
Trevo ladino	200
Trevo branco	120
Soja	110
Cowpea	100
Lespedeiras (anual)	95
Amendoim	45

Tabela 3-8. Efeitos do fósforo e do potássio na produção, na nodulação e na composição química da soja.

Dose anual		Produção média ⁽¹⁾ t/ha	Número de nódulos por planta ⁽²⁾	Peso fresco dos nódulos ⁽²⁾ , mg/cm ³	% de N no nódulo	Proteína na semente % ⁽¹⁾	Proteína na semente, kg/ha ⁽¹⁾
P ₂ O ₅	K ₂ O						
0	0	1,7	35	0,186	3,19	41,8	717
134	0	1,8	59	0,343	3,92	41,8	742
0	134	3,1	79	0,487	3,37	39,2	1.228
134	134	3,7	114	0,919	3,61	39,2	1.445

⁽¹⁾ Média de 2 anos.

⁽²⁾ Assumindo a profundidade de 17 cm.

Virginia, EUA

A fixação simbiótica de nitrogênio pelas bactérias das leguminosas é considerada a mais importante fonte natural deste nutriente nos solos. As pesquisas, agora, estão sendo conduzidas para os organismos fixadores que se desenvolverão e fixarão o nitrogênio em gramíneas.

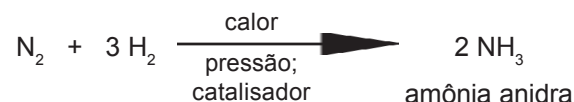
O fósforo e o potássio afetam a nodulação e, conseqüentemente, a fixação do nitrogênio, conforme mostrado na Tabela 3-8. Note como o fósforo e o potássio aumentaram o número de nódulos, a porcentagem de nitrogênio nos nódulos e a produção de proteína nas sementes.

A fixação não simbiótica do nitrogênio é levada a efeito por bactérias de vida livre no solo. A quantidade de nitrogênio fixada por estes organismos é muito menor do que a quantidade fixada simbioticamente. A maioria das estimativas indica que valores de até 20 kg/ha são fixados anualmente por estes microrganismos.

- **Oxidação natural** - O calor gerado por relâmpagos promove a reação do nitrogênio com o oxigênio do ar, formando eventualmente N-NO₃⁻. A chu-

va e a neve adicionam somente 5 a 10 kg/ha de nitrogênio por ano.

- **Industrial** - Os processos industriais fixam o nitrogênio de modo muito eficiente e em formas disponíveis para as plantas. O processo mais importante é o da síntese da amônia (NH₃) a partir de nitrogênio (N₂) e hidrogênio (H₂), como segue:



O H₂ é geralmente obtido do gás natural. O N₂ vem diretamente do ar.

A Figura 3-3 mostra como a amônia pode ser usada para a fabricação de um grande número de outros materiais fertilizantes.

PERDAS DE NITROGÊNIO

As colheitas das diversas culturas removem grandes quantidades de nitrogênio do solo. A quantidade

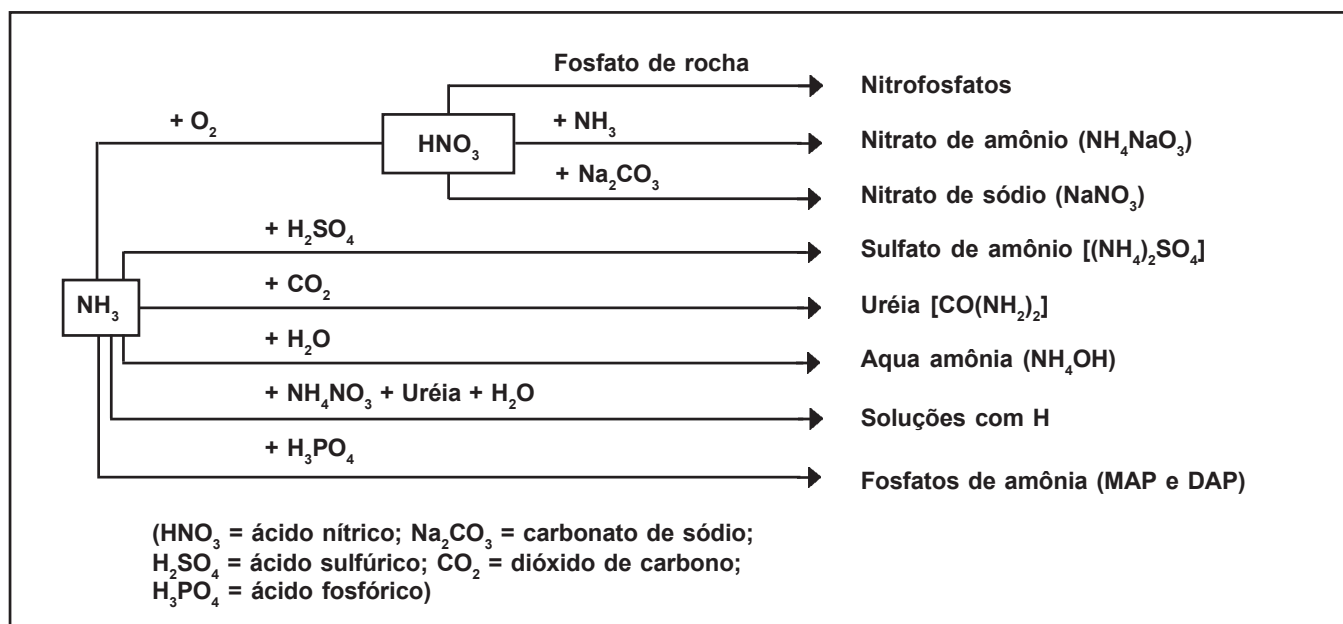


Figura 3-3. A amônia é o produto básico do qual são produzidas outras fontes de nitrogênio.

depende do tipo de cultura e da produção. Apesar da remoção pelas culturas não ser geralmente considerada uma perda, na realidade ela é. O efeito final da remoção das culturas é a diminuição dos níveis de nitrogênio no solo. Outros tipos de perdas de nitrogênio são descritos a seguir.

- **Reações do amônio** - Quando fertilizantes nitrogenados, tais como o nitrato de amônio ou sulfato de amônio, são aplicados na superfície de solos alcalinos ou calcários, uma reação química pode causar a perda de nitrogênio como gás NH_3 , num processo chamado **volatilização**. Reações semelhantes podem ocorrer em solos que receberam calagem recente. As perdas por volatilização podem ser altas sob temperaturas elevadas e certas condições de umidade. Para evitar tais perdas, incorpore o fertilizante aplicado aos solos alcalinos ou calcários.
- **Uréia** - A aplicação de nitrogênio na forma de uréia, na superfície do solo, rapidamente converte este nitrogênio em NH_3 ou NH_4^+ quando a umidade e a temperatura são adequadas, e quando a enzima, urease, está presente. Este NH_3 pode ser perdido para a atmosfera através da volatilização. Esta perda pode ser evitada por (1) incorporação da uréia, (2) aplicação quando a temperatura é baixa ou (3) irrigação imediata para levar a uréia para dentro do solo.
- **Amônia anidra** - A amônia anidra (NH_3) é um gás. Assim sendo, ela precisa ser adequadamente aplicada no solo para prevenir as perdas para a atmosfera. Também podem ocorrer perdas quando a NH_3 é aplicada em solos extremamente úmidos.

A época ideal de aplicação é quando a umidade está abaixo da capacidade de campo... úmido, mas não saturado de umidade ou muito seco. Os solos arenosos e com baixa CTC necessitam de aplicações mais profundas do que os solos argilosos.

COMO O FERTILIZANTE NITROGENADO AFETA A ACIDEZ DO SOLO

Quando o processo de nitrificação converte o íon amônio a nitrato, íons hidrogênio são liberados (Figura 3-2). Isto é uma fonte de acidez do solo. Conseqüentemente, as fontes de nitrogênio (fertilizantes, esterco, leguminosas) que contêm ou formam nitrogênio amoniacal aumentam a acidez do solo, a não ser que a planta absorva o íon amônio diretamente.

O nitrato também é um fator importante associado com a lixiviação de bases como cálcio, magnésio e potássio do solo. O nitrato e as bases movem-se juntos. À medida que estas bases são removidas e substituídas por hidrogênio, os solos tornam-se mais ácidos.

Quando o processo de mineralização decompõe a matéria orgânica do solo, o primeiro produto com nitrogênio é o amônio (NH_4^+). Quando ele é convertido a nitrato, íons hidrogênio são liberados. Isto, à semelhança dos fertilizantes amoniacais inorgânicos, causa alguma acidez.

Outros carreadores de nitrogênio, como o nitrato de sódio e o nitrato de cálcio, deixam cátions básicos... Ca^{++} e Na^+ ... no solo. Isto torna o solo menos ácido.

A Tabela 3-9 mostra como diferentes fontes de nitrogênio afetam a acidez ou a alcalinidade dos solos.

Tabela 3-9. Algumas fontes de nitrogênio, seus teores e efeitos na acidez ou basicidade dos solos.

Fonte de N	Fórmula química	% N	kg CaCO_3 /kg de N^1
Sulfato de amônio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21	5,2
Amônia anidra	NH_3	82	1,8
Nitrato de amônio	NH_4NO_3	34	1,8
Uréia	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	46	1,8
Solução uréia-nitrato de amônio (URAN)	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3$	28-32	1,8
Nitrato de cálcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	15,5	0,5-1,0 (B)
Nitrato de sódio	NaNO_3	16	1,8 (B)
Nitrato de potássio	KNO_3	13	2,0 (B)
Fosfato de monoamônio (MAP)	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	10	5,0
Fosfato de diamônio (DAP)	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	18	3,1
Nitrofosfato	$\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	20	0,8-1,3
Nitrato de cálcio e amônio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3$	26	0,3-0,7

¹ Quantidade de carbonato de cálcio puro (CaCO_3) seja para neutralizar as reações formadoras de ácidos de 1 kg de N ou a quantidade de CaCO_3 necessária para igualar os efeitos neutralizadores de ácidos de 1 kg de N (B).

A maioria dos efeitos fornecedores de ácidos é devida às atividades de bactérias do solo durante a nitrificação.

FONTES DE NITROGÊNIO

A decomposição da matéria orgânica fornece praticamente mais de 90% do nitrogênio do solo, mas a maioria dos solos contém pouca matéria orgânica, geralmente 2% ou menos. A matéria orgânica do solo contém cerca de 5% de nitrogênio, mas somente cerca de 2% da matéria orgânica são decompostos a cada ano, em geral menos que isto.

Assim, cada 1% de matéria orgânica libera somente cerca de 10 a 40 kg de nitrogênio a cada ano — muito aquém das necessidades da maioria das plantas cultivadas. Além disso, a taxa de liberação é afetada pelas práticas de manejo. O preparo conservacionista, que vem sendo praticado em maior área a cada ano na América do Norte, por exemplo, leva a solos mais frios, menor velocidade de decomposição da matéria orgânica e menores taxas de liberação de nitrogênio.

Houve época em que todo o fertilizante nitrogenado estava na forma de materiais orgânicos naturais. Materiais orgânicos, tais como o esterco de curral, o esterco de galinha, a torta de caroço de algodão e a farinha de ossos, foram também usados. Alguns destes materiais ainda estão sendo usado em muitos países.

A maior parte dos fertilizantes nitrogenados vem hoje da fixação sintética do nitrogênio atmosférico em amônia, com o posterior processamento da amônia em outros compostos, tais como:

- **Amônia anidra** - A amônia anidra contém mais nitrogênio do que qualquer outro fertilizante nitrogenado encontrado no mercado (82%). Ela é armazenada sob pressão, como um líquido. É aplicada ao solo através de tanques de alta pressão: (1) por injeção através de tubos que são localizados na parte de trás de um aplicador tipo lâmina ou (2) por mistura na água de irrigação, em sistemas de inundação ou sulcos, mas não em sistema de irrigação por aspersão. A aplicação de amônia anidra pode ser difícil em solos pedregosos, encharcados ou secos, ou cheio de torrões. Em soqueiras de culturas, pode causar injúrias temporárias nas raízes.

Como se trata de um gás sob condições normais de temperatura e pressão, alguma perda de amônia anidra pode ocorrer durante e após a aplicação. As condições físicas e químicas do solo afetam a quantidade perdida. O teor de umidade do solo, a profundidade de aplicação, o espaçamento das lâminas do aplicador e a CTC do solo afetam a quantidade de amônia retida no solo. Solos com baixa CTC como os arenosos podem necessitar de aplicações em maior profundidade para evitar perdas por volatilização.

Se um solo está compactado ou cheio de torrões durante a aplicação, a fenda atrás da lâmina do aplicador não se fechará. Isto permite que alguma amônia seja perdida para a atmosfera. A umidade do solo próxima à capacidade de campo é a ideal para a retenção de amônia. Condições de encharcamento também aumentam as possibilidades de perdas em função da dificuldade de fechamento das fendas atrás das lâminas.

Menores espaçamentos do aplicador ou pontos de aplicação propiciam menores perdas de amônia por causa da concentração reduzida no ponto de injeção. Doses de aplicação menores também reduzem a concentração de amônia nos pontos de liberação e reduzem possíveis perdas.

Levando-se todos esses pontos em consideração, as perdas de amônia por volatilização são normalmente pequenas e não se constituem em um grande fator econômico.

- **Aqua amônia e soluções de nitrogênio** - A aqua amônia é obtida dissolvendo-se gás amônia em água. Estes produtos apresentam propriedades semelhantes à amônia anidra e devem ser colocados abaixo da superfície do solo para prevenir perdas. As soluções de nitrogênio são preparadas misturando soluções concentradas de nitrato de amônio, de uréia e algumas vezes de aqua amônia. Essas soluções de nitrogênio são algumas vezes produzidas pela dissolução de uréia e/ou nitrato de amônio sólidos. Todas as soluções de nitrogênio são classificadas como pressurizadas ou não pressurizadas.

As **soluções pressurizadas** possuem uma apreciável pressão de vapor por causa da amônia livre. Elas podem requerer tanques e equipamentos modificados, especialmente se a pressão de vapor for muito forte nas temperaturas de operação. As soluções pressurizadas precisam ser aplicadas abaixo da superfície do solo para evitar perdas. Não aplique esses produtos em contato direto com a semente porque a amônia é danosa à germinação.

As **soluções não pressurizadas** podem ser manuseadas sem o uso de tanques ou equipamentos de alta pressão. Elas não contêm amônia livre; usualmente contêm nitrato de amônio, uréia e água. Soluções de nitrogênio que contêm uréia e nitrato de amônio (URAN) apresentam maiores concentrações de nitrogênio do que as soluções de cada um desses produtos isolados. A presença de ambos os compostos baixa a temperatura de formação de sais e permite que as soluções possam ser utilizadas a temperaturas mais baixas sem a formação de precipitados. Entretanto, mesmo nas solu-

ções URAN, à medida que a concentração de nitrogênio aumenta, a temperatura de precipitação também aumenta. Por exemplo, soluções com 28% de nitrogênio precipitam a -21°C, soluções com 30% a -7°C, e soluções com 32% a -2°C.

- **Nitrato de amônio** - O nitrato de amônio contém 32% de nitrogênio, metade na forma amoniacal (NH_4^+) e metade na forma nítrica (NO_3^-). Apesar do nitrato de amônio sólido possuir excelentes qualidades para o manuseio, ele absorve umidade (é higroscópico). Por esse motivo, ele é revestido durante a fabricação com materiais como terra diatomácea, para prevenir a absorção de água. Ele também não deve ser deixado em sacos ou compartimentos abertos por período longos em clima úmido. O nitrato de amônio é bastante adequado para misturas de produtos e para culturas que requerem aplicações em cobertura.
- **Fosfato de amônio** - O fosfato de monoamônio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) e o fosfato de diamônio [$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$] são geralmente considerados fontes mais importantes de fósforo do que de nitrogênio. O Capítulo 4 discute estes materiais.
- **Uréia** - A uréia, com 44% de N na forma amídica, não contém NH_4^+ na forma em que é comercializada e usada. No solo, entretanto, ela pode ser hidrolisada rapidamente, na presença de enzima urease, para produzir íons de amônio e bicarbonato (Figura 3-4). Uma série de fatores influencia quão rapidamente ocorre a hidrólise da uréia, incluindo a quantidade de enzima presente e a temperatura do solo. Quanto menor a temperatura do solo, mais lento é o processo.

Durante a hidrólise, os íons de bicarbonato reagem com a acidez do solo e aumentam o pH do

solo na proximidade do local onde ocorre a reação o que, em parte, neutraliza um pouco da acidez que, mais tarde, é produzida pela nitrificação. Os íons NH_4^+ são adsorvidos pela argila e matéria orgânica do solo, sofrem nitrificação ou são diretamente absorvidos pelas plantas. Uma vez convertida em amônio, a uréia comporta-se como qualquer dos outros fertilizantes nitrogenados e é uma excelente fonte de nitrogênio⁽¹⁾. Existem alguns fatos sobre o comportamento da uréia que devem ser compreendidos:

a) A uréia é hidrolisada rapidamente. Grandes quantidades de amônia (NH_3) podem ser perdidas por volatilização quando a uréia ou soluções contendo uréia são aplicadas em superfícies nuas, e que estão evaporando rapidamente a água, ou em solos com grandes quantidades de resíduos, incluindo soqueiras. A aplicação com temperatura baixa, incorporação ao solo ou aplicações em faixas dos fertilizantes contendo uréia (URAN), ajudam a controlar o problema.

b) A rápida hidrólise da uréia no solo pode ser responsável por injúrias produzidas pelo NH_3 às plântulas. Isto ocorre quando grandes quantidades são localizadas muito próximas às sementes ou em sulcos com as sementes em linhas estreitas. Uma regra prática é evitar contato direto com as sementes plantadas em sulcos ou sulcos pouco espaçados de pequenos grãos. Pequenos grãos podem suportar altas doses de aplicação em contato com as sementes se a plantadeira distribui as sementes e o fertilizante em faixas mais largas (plantadeiras a ar).

c) A uréia é um excelente fertilizante para a adubação foliar, mas alguns tipos podem conter pe-

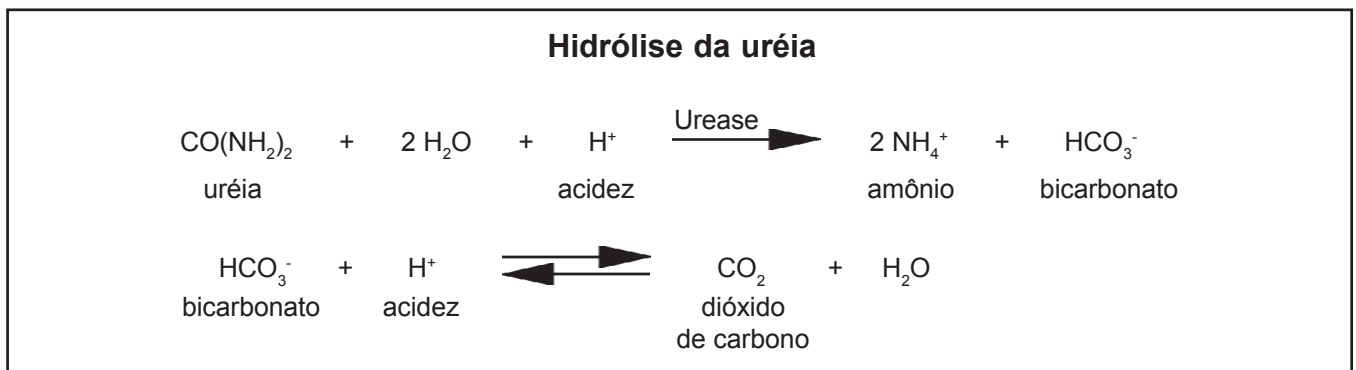


Figura 3-4. A decomposição da uréia (hidrólise) no solo depende da presença da enzima urease e deve ocorrer antes das plantas utilizarem o nitrogênio da uréia.

⁽¹⁾ As fontes de nitrogênio mais comercializadas no Brasil são: a uréia, que representa mais de 50% do total, o sulfato de amônio (± 20%), e menores quantidades de nitrato de amônio e nitrocálcio.

quenas quantidades de um produto de condensação chamado biureto. O biureto é tóxico quando aplicado nas folhas das plantas mas não apresenta efeito detrimental quando aplicado ao solo.

- **Sulfato de amônio** - O sulfato de amônio contém 20% de nitrogênio e 22-24% de enxofre. É geralmente produzido como um subproduto na fabricação de coque e nylon. O aumento na frequência das deficiências de enxofre tem resultado em uma maior utilização desse fertilizante como fonte de nitrogênio e enxofre.
- **Sulfonitrato de amônio** - É obtido por mistura, à quente, de soluções de nitrato e sulfato de amônio. Apresenta 25% de N total, sendo 5% na forma nítrica e 20% na forma amoniacal. Contém, ainda, 13 a 15% de S.
- **Nitrocálcio** - O nitrocálcio resulta da mistura de nitrato de amônio com calcário finamente moído. Apresenta 20% de N total, sendo metade na forma nítrica e metade na forma amoniacal. Pelo revestimento do nitrato de amônio com calcário este fertilizante não apresenta características acidificantes. Contém ainda 2 a 8% de Ca e 1 a 5% de Mg.
- **Nitrato de sódio** - O nitrato de sódio é resultante da extração e purificação de depósitos naturais de caliche no Chile. Foi, durante muitas décadas, o único fertilizante nitrogenado comercializado. O Salitre do Chile, como é conhecido, apresenta 15% de N na forma nítrica.

A Tabela 3-10 enumera vários fertilizantes com nitrogênio. ■

Tabela 3-10. Fontes de nitrogênio e seus teores de N.

Fonte	%N
Amônia anidra	82
Aqua amônia	mínimo 10
Nitrato de amônio	32-34,0
Sulfonitrato de amônio	25
Nitrocálcio	20
Sulfato de amônio	20
Solução de uréia-nitrato de amônio (URAN)	28-32
MAP	9
DAP	16
Cloreto de amônio	25
Uréia	44
Nitrato de sódio	15
Nitrato de potássio	13
Nitrato de cálcio	14
Uréia revestida com S	39
Uréia formaldeído	38
Fosfato de magnésio e amônio	9

Nota: Ver fontes de nitrogênio de acordo com a legislação brasileira na Tabela 7A (Anexos).

CAPÍTULO 3 NITROGÊNIO

PERGUNTAS DE REVISÃO

1. As plantas geralmente absorvem o nitrogênio como _____ ou _____.
2. Dentro da planta o nitrogênio é convertido em _____.
3. (C ou E) O nitrogênio faz parte da molécula de clorofila.
4. O amarelecimento das folhas das plantas, em decorrência da deficiência de nitrogênio, é chamado de _____.
5. Na presença da clorofila, _____, _____ e _____ são convertidos em açúcares simples.
6. (C ou E) O atraso na maturidade das culturas é usualmente causado por excesso de nitrogênio.
7. (C ou E) O nitrogênio aumenta a produção das culturas por mm de água, independentemente da quantidade de água disponível para o crescimento.
8. (C ou E) A maioria das rochas e minerais do solo contém nitrogênio.
9. A maior parte do nitrogênio do solo vem da _____.
10. Cada hectare da superfície da terra está coberto por _____ toneladas de nitrogênio.
11. As formas de nitrogênio do solo mais disponíveis são íons _____ e _____ ou compostos solúveis de nitrogênio. A forma menos disponível é o nitrogênio _____.
12. O processo pelo qual o nitrogênio orgânico não disponível é convertido em formas disponíveis é conhecido por _____. O processo reverso é a _____.
13. (C ou E) Materiais com alta relação C/N fazem com que o processo da imobilização supere o de mineralização.
14. (C ou E) A alfafa tem uma relação C/N mais larga do que o solo superficial inalterado.
15. A conversão bacteriana do nitrogênio na forma de amônio à forma de nitrato é chamada _____.
16. O processo pelo qual o nitrogênio na forma de nitrato é reduzido a óxido nitroso ou nitrogênio elementar é chamado de _____.
17. Quatro condições do solo que influenciam a nitrificação e a desnitrificação são _____, _____, _____ e _____.
18. Os inibidores da nitrificação atuam por desativar a bactéria que converte _____ em _____.
19. Quando o nitrogênio atmosférico é combinado com hidrogênio ou oxigênio, o processo é chamado de _____.
20. As três formas de fixação do nitrogênio são _____, _____ e _____.
21. As duas formas de fixação biológica do nitrogênio são _____ e _____.
22. A alfafa fixa cerca de _____ kg de nitrogênio por hectare em um ano normal.
23. Na síntese da amônia, o hidrogênio (H) geralmente é obtido do _____.
24. (C ou E) A amônia é a base para a fabricação dos fertilizantes nitrogenados mais comuns.
25. (C ou E) A remoção pelas culturas é uma forma de perda de nitrogênio do solo.

26. A perda de nitrogênio como gás NH_3 é chamada de _____.
27. (C ou E) As perdas de uréia podem ser diminuídas pela aplicação com temperatura baixas, através de irrigação imediatamente após a aplicação ou por incorporação mais profunda.
28. (C ou E) Perdas significativas de nitrogênio podem ocorrer quando se aplica amônia anidra em solos extremamente úmidos.
29. A uréia contém _____% de nitrogênio.
30. Quais dos seguintes fertilizantes contendo nitrogênio apresentam reação ácida: sulfato de amônio, uréia, nitrato de potássio, nitrato de cálcio, amônia anidra?
31. (C ou E) A decomposição da matéria orgânica do solo resulta em aumento da acidez do solo.
32. Todas as soluções contendo nitrogênio são classificadas como _____ ou _____.
33. (C ou E) Metade do nitrogênio do nitrato de amônio está na forma de NO_3^- .
34. O nitrato de amônio é higroscópico, o que significa que ele _____ água com rapidez.
35. (C ou E) O teor de biureto na uréia é um problema apenas em adubação foliar.
36. O fertilizante nitrogenado com o maior teor de N é a _____.

CAPÍTULO 4

FÓSFORO

	Página
• Um nutriente essencial para as plantas	51
• Funções do fósforo nas plantas	51
• Sintomas de deficiência nas plantas	52
• Fontes e quantidades de fósforo nos solos	52
• Movimento do fósforo no solo	54
• Fatores que afetam a disponibilidade do P	55
• Métodos de aplicação dos fertilizantes fosfatados	59
• Fontes de fertilizantes fosfatados	61
• Terminologia dos fertilizantes fosfatados	64
• Perguntas de revisão	65

UM NUTRIENTE ESSENCIAL PARA AS PLANTAS

O fósforo (P) é essencial para o crescimento das plantas e nenhum outro nutriente pode substituí-lo. A planta precisa do fósforo para completar seu ciclo normal de produção. Ele é um dos três nutrientes primários, como o nitrogênio (N) e o potássio (K). A Tabela 4-1 mostra as quantidades de P_2O_5 que algumas culturas removem do solo.

Tabela 4-1. Remoção de P_2O_5 por algumas culturas.

Cultura	Nível de produção (t/ha)	P_2O_5 removido pela planta inteira (kg/ha)
Alfafa	18,0	134
Algodão (fibra)	1,1	57
Amendoim	4,5	45
Arroz	7,8	67
Banana	55,0	52
Café	2,1	12
Cana-de-açúcar	112,0	112
Feijão	2,0	15
Milho	10,0	102
Soja	4,0	65
Sorgo granífero	9,0	94
Tomate	90,0	97
Trigo	4,0	46

Nota: O teor de fósforo nos fertilizantes é expresso em equivalente de " P_2O_5 ", apesar de, na realidade, não ocorrer P_2O_5 como tal nesses materiais. A designação P_2O_5 é a expressão padrão do teor relativo de P. Neste texto, alguns resultados são apresentados em termos de P e outros em P_2O_5 . Para converter o P em P_2O_5 basta multiplicá-lo por 2,29. Para converter o P_2O_5 em P deve-se multiplicá-lo por 0,43.

FUNÇÕES DO FÓSFORO NAS PLANTAS

As plantas absorvem a maior parte de seu fósforo como íon ortofosfato primário ($H_2PO_4^-$). Pequenas quantidades de íon ortofosfato secundário (HPO_4^{2-}) são também absorvidas. O pH do solo influencia grandemente a relação destes dois íons absorvidos pela planta. Outras formas de fósforo podem ser utilizadas, mas em quantidades muito menores que os ortofosfatos.

Níveis mais altos de fósforo nas plantas jovens são encontrados nos tecidos dos pontos de crescimento. Uma vez que o fósforo movimenta-se rapidamente dos tecidos velhos para os novos, as deficiências aparecerão primeiro nas partes baixas das plantas. Também, à medida que as culturas atingem a maturidade, mais fósforo se movimenta para as sementes e frutos (Tabela 4-2).

Tabela 4-2. As sementes contêm mais fósforo do que as outras partes da planta.

Cultura	Parte	Nível de produção (t/ha)	%P
Milho	Grãos	9,4	0,22
	Resíduo	8,4	0,17
Algodão	Sementes	2,2	0,66
	Resíduo	2,8	0,24
Amendoim	Grãos	4,5	0,20
	Casca	7,2	0,26
Arroz	Grãos	6,7	0,28
	Palha	7,8	0,09
Soja	Grãos	3,4	0,42
	Palha	7,8	0,18
Trigo	Grãos	4,0	0,42
	Palha	6,1	0,12

O fósforo atua na fotossíntese, na respiração, no armazenamento e na transferência de energia, na divisão celular, no crescimento das células e em vários outros processos da planta.

Além de promover a formação e o crescimento prematuro das raízes, o fósforo melhora a qualidade de muitas frutas, verduras e culturas graníferas, sendo vital para a formação das sementes. Está, também, envolvido na transferência dos códigos genéticos de uma geração para outra.

O fósforo ajuda as raízes e as plântulas a se desenvolverem mais rapidamente, aumenta a resistência aos rigores do inverno, melhora a eficiência no uso da água, favorece a resistência às doenças em algumas plantas, acelera a maturidade e é importante para a colheita e a qualidade da cultura.

Na Tabela 4-3 pode-se observar que a adubação com fósforo aumentou a produção de milho e reduziu a porcentagem de umidade dos grãos na colheita.

Tabela 4-3. A adubação fosfatada aumenta a produção de milho e diminui a umidade dos grãos na colheita.

P ₂ O ₅ aplicado (kg/ha)	Produção (t/ha)	Umidade no grão (%)
0	6,2	31,8
45	8,2	27,8
90	8,8	27,0
135	8,5	26,9
180	8,7	26,5

Solo com baixo teor de P.

Illinois, EUA

Um aspecto importante da fertilidade do solo, em relação a fósforo, é a sua influência na absorção desse nutriente pelas culturas, durante o período de estresse por umidade. A Figura 4-1 mostra que a absorção de fósforo por plântulas de milho é reduzida durante períodos de estresse por umidade. Este efeito, entretanto, pode ser parcialmente sobrepujado quando os níveis de fósforo no solo são altos.

SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA NAS PLANTAS

O primeiro sinal da fome de fósforo é um desenvolvimento subnormal de toda a planta. A forma da folha pode ficar distorcida. Quando a deficiência é severa, áreas mortas podem aparecer nas folhas, frutos e pecíolos. As folhas mais velhas serão afetadas antes das mais novas. Uma cor púrpura (arroxeadada) ou avermelhada, associada com o acúmulo de açúcar, é frequentemente observada em plantas deficientes de milho e de algumas outras culturas, especialmente em baixas temperaturas. A deficiência de fósforo atrasa a maturidade. Culturas de pequenos grãos cultivadas em solos sem teor adequado de fósforo perfilham menos.

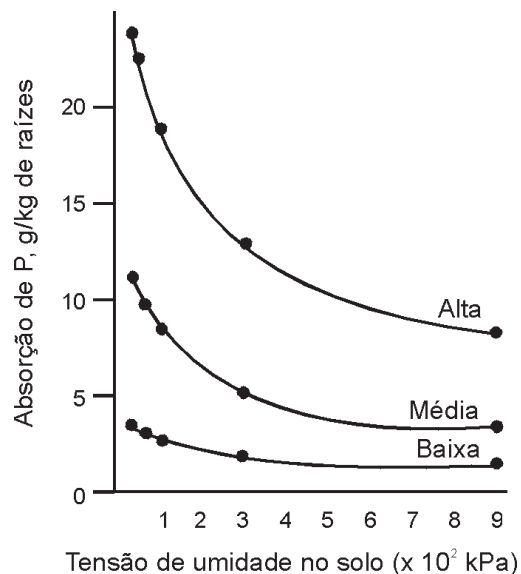


Figura 4-1. O nível de fósforo no solo afeta a absorção pelas plantas de milho durante períodos de estresse por umidade.

Os sintomas visuais, além do desenvolvimento subnormal e da redução na produção, geralmente não são tão claros como os sinais de fome de nitrogênio e de potássio.

A deficiência de fósforo é difícil de ser detectada em muitas culturas. Em alguns estádios, pode fazer com que a cultura pareça de cor verde mais escura. Deve-se sempre estar alerta para a característica do desenvolvimento subnormal e, quando possível, confirmar o que os olhos vêem, com a análise do solo e das plantas.

FONTES E QUANTIDADES DE FÓSFORO NOS SOLOS

(ver Conceito de Produção 4-1)

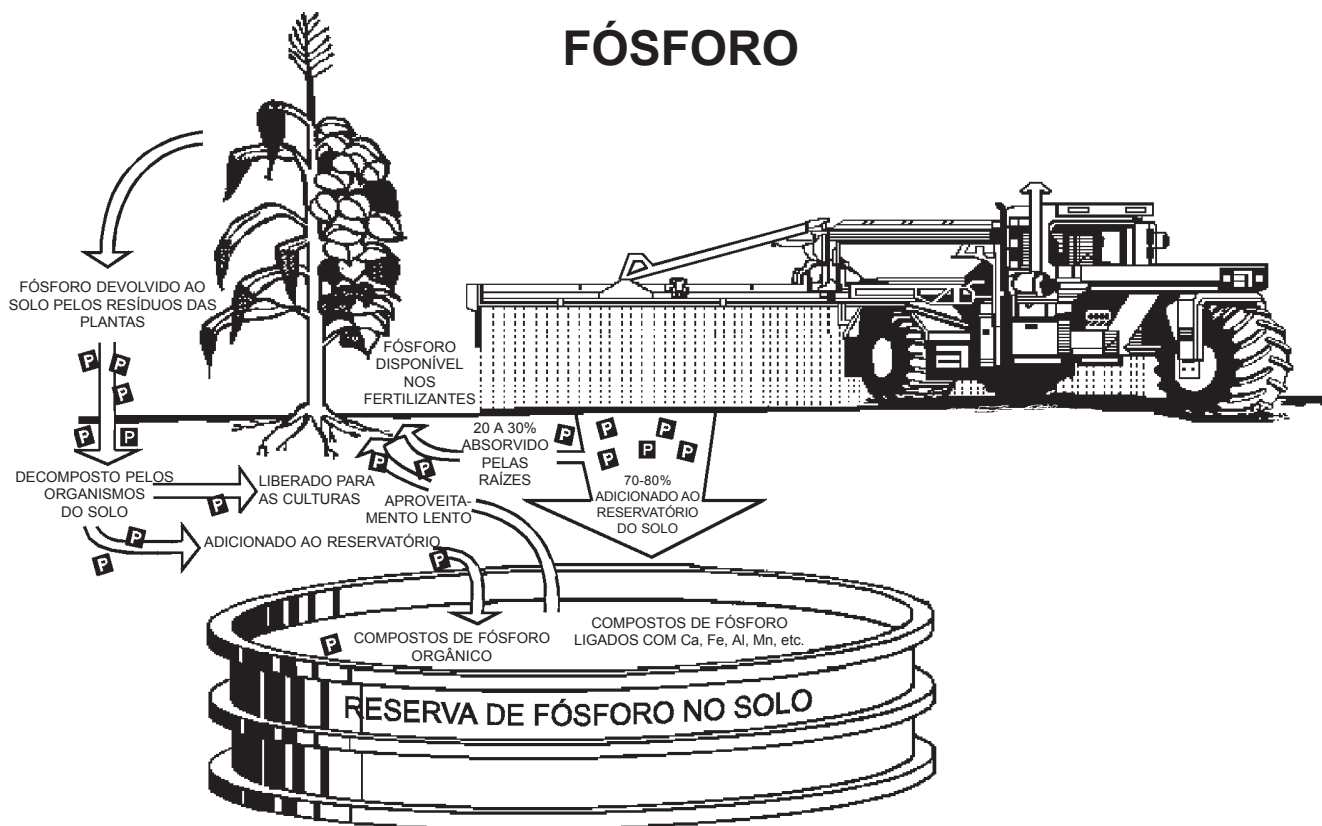
O fósforo elementar é muito reativo quimicamente. Assim, ele não é encontrado em estado puro na natureza, somente em combinações químicas com outros elementos.

A maior parte do fósforo do solo é proveniente da intemperização da apatita, um mineral que contém fósforo e cálcio, além de outros elementos, como o flúor e o cloro. À medida que a apatita desintegra-se e libera o fósforo no solo, vários compostos de fósforo são formados, incluindo-se os dois ortofosfatos, que são absorvidos pelas raízes das plantas. Estas formas geralmente são solúveis e podem ser encontradas dissolvidas em pequenas quantidades, na solução do solo.

O fósforo solúvel no solo formará compostos com o cálcio, o ferro, o alumínio e o manganês, quer ele seja proveniente da apatita, de fertilizantes, do esterco ou

CONCEITO DE PRODUÇÃO 4-1

FÓSFORO



A MAIORIA DOS SOLOS NÃO TEM O SUFICIENTE...

A MAIORIA DAS CULTURAS TEM dificuldades em obter o fósforo suficiente. A deficiência de fósforo pode ser mais limitante para a produção das culturas no mundo do que qualquer outra deficiência, toxicidade ou doenças. Um levantamento recente sobre dados de análises de solos indica que várias áreas do mundo apresentam uma porcentagem significativa de solos enquadrados como tendo teor médio ou baixo em fósforo.

Eis alguns exemplos. O produtor pode esperar uma eficiência entre 10 e 30% para os fertilizantes fosfatados solúveis em água no primeiro ano após a aplicação. É difícil manter o fósforo disponível para as plantas. Este nutriente sempre quer manter ligações químicas com o cálcio e o ferro, para formar compostos que não se movimentam bem para as raízes. Os métodos de aplicação podem influenciar na eficiência de uso do fósforo.

País	Região	Resumo de análises de solos - % com teor médio ou baixo em P
Canadá	Ontário	42
	Saskatchewan	86
EUA	Nebraska	60
	Pensilvânia	54
México	Alabama	46
	Bajío	85
Venezuela	Tropical-Sul	70
	Lianos orientais	95
	Lianos centrais	90
Colômbia	Lianos ocidentais	57
	Terras altas vulcânicas	80
	Lianos orientais	95
Equador	Vale do Cauca	73
	Terras altas vulcânicas	80
Brasil	Planície costeira	63
	Cerrados	91

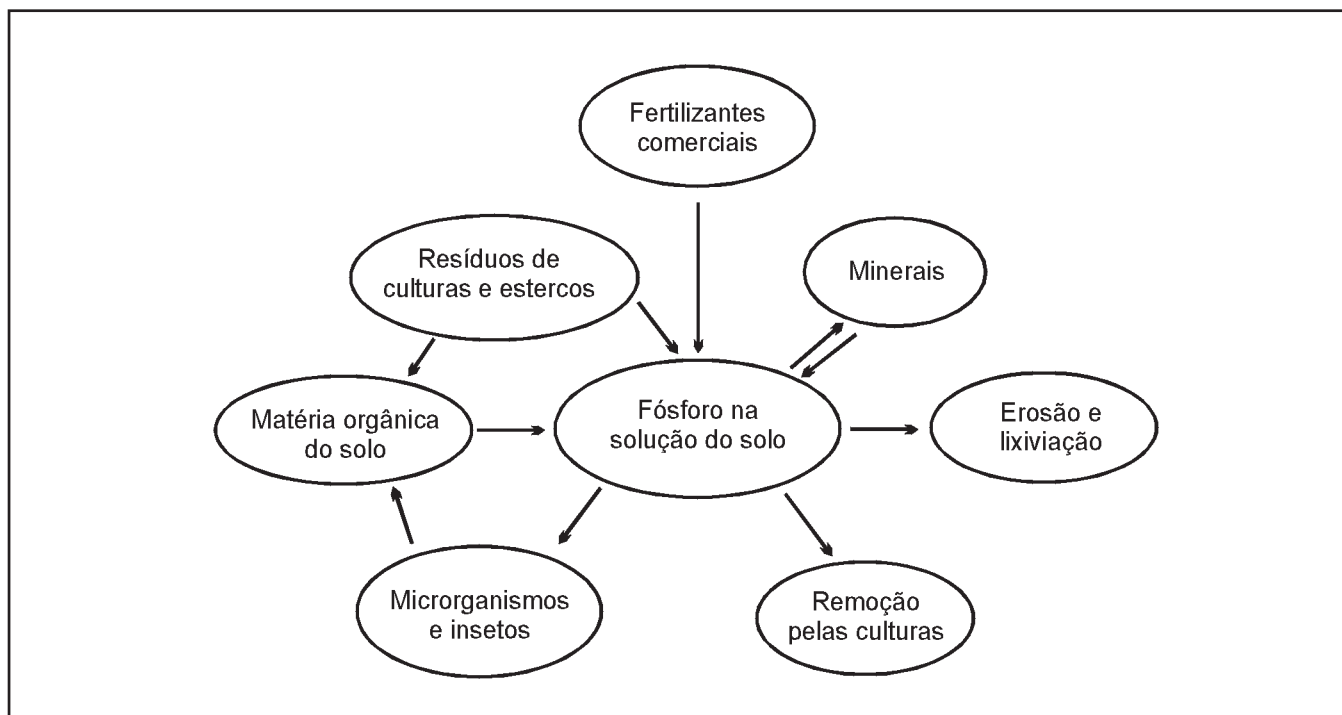


Figura 4-2. O teor de fósforo na solução do solo é afetado por vários fatores.

da matéria orgânica. Irá, também, se ligar com as superfícies reativas de certos minerais de argila tais como a caulinita, os óxido de ferro e alumínio nos solos vermelhos dos trópicos, e com a alofana, a imogolita e complexos húmus-Al em solos formados de cinzas vulcânicas. Essas reações diminuem a disponibilidade de fósforo para as plantas porque ele é revertido ou transformado em formas fixadas.

Compostos como fosfato bicálcico ou octocálcico, entretanto, são relativamente disponíveis às plantas. Outras fontes de fósforo disponível incluem a matéria orgânica em decomposição, o húmus, os microrganismos e outras formas de vida. A pesquisa demonstrou que os compostos orgânicos no solo podem ajudar a retardar as reações de fixação de fósforo.

A camada arável da maior parte dos solos agrícolas pode conter altas quantidades de P, chegando até a 2.800 kg ou mais de P total/ha em combinação com outros elementos... mas a maioria em forma não disponível para as plantas. Somente uma quantidade muito pequena do fósforo total do solo está na solução a qualquer momento... usualmente menos de 4 kg P/ha. Somente uns poucos quilogramas de fósforo por hectare, na solução do solo, são usualmente adequados para o crescimento normal das culturas. O ponto chave para a fertilidade, em relação ao fósforo, não é, então, ter grandes quantidades de fósforo na solução do solo, mas sim, a habilidade de repor o fósforo na solução.

Assim sendo, à medida que as raízes penetram no perfil do solo para usar o fósforo disponível, ele precisa ser repostado de uma forma contínua. O fósforo da solução do solo é repostado cerca de duas ou três vezes por dia, ou cerca de 300 vezes durante a estação de crescimento de culturas como o milho e a soja. Um solo precisa repor ou manter os níveis suficientes de fósforo na solução do solo para assegurar as altas produções.

A Figura 4-2 mostra: (1) como o fósforo é repostado na solução do solo, (2) como ele torna-se não disponível e (3) como ele é removido (ou perdido) do solo.

Note a seta dupla entre “Fósforo na solução do solo” e “Minerais”. **Lembre-se:** o fósforo torna-se disponível pela intemperização dos minerais e pela decomposição da matéria orgânica, mas ele também pode tornar-se não disponível, ou “fixado”, em formas que a planta não pode utilizar.

MOVIMENTO DO FÓSFORO NO SOLO

O fósforo movimentar-se muito pouco na maioria dos solos. Ele geralmente permanece onde é colocado pela intemperização dos minerais ou pela adubação. Assim, pouco fósforo é perdido por lixiviação, apesar dele poder movimentar-se um pouco mais em solos arenosos do que em solos argilosos. A erosão superficial (escorrimento superficial) pode remover partículas de solo contendo fósforo. A erosão e a remoção pelas culturas

são as únicas formas significativas de perdas de fósforo do solo.

Quase todo o fósforo movimenta-se no solo por difusão, um processo lento e de pouca amplitude, que depende da umidade do solo. Condições de seca reduzem drasticamente a difusão. A maior parte do potássio (K) também se movimenta por difusão, mas ele é mais solúvel do que o fósforo. Assim, o potássio tende a movimentar-se mais. Quando se comparam as distâncias que o nitrogênio, o fósforo e o potássio podem percorrer do ponto de aplicação, observa-se que o nitrogênio (na forma de NO_3^-) movimenta-se livremente no solo. Lembre-se de que esta comparação é feita somente em termos relativos, e não absolutos, como mostra a Figura 4-3.

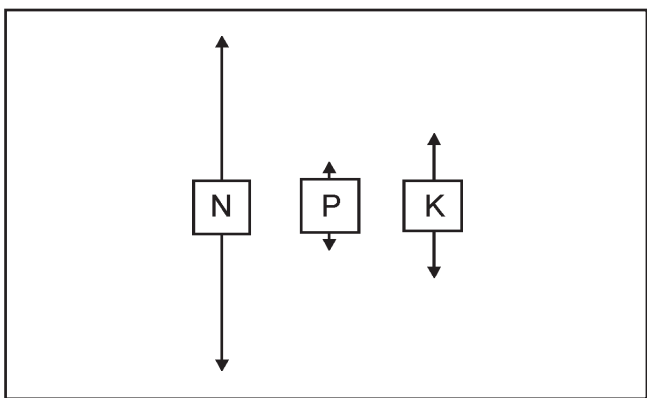


Figura 4-3. Movimento relativo do nitrogênio, do fósforo e do potássio no solo.

Quão pouco o fósforo realmente se movimenta? Se o fósforo em um solo barrento (franco) está a mais de 1 cm da raiz, ele nunca irá movimentar-se o suficiente para poder ser absorvido por ela. As raízes de uma cultura em crescimento entram em contato com somente 1 a 3% do solo da camada arável (15 a 20 cm), segundo estimativas já feitas. Em termos práticos, isto significa que o solo precisa estar adequadamente suprido com fósforo para suportar o ótimo crescimento da cultura. O nível de fósforo na zona radicular deve

ser suficientemente alto para garantir que haja fósforo disponível durante todos os estádios de crescimento.

A importância da disponibilidade de fósforo, a longo prazo, não pode ser super enfatizada.

Dados da Tabela 4-4 mostram a absorção de P diária e por longo período de uma cultura de soja que produziu 6,7 toneladas por hectare. Durante a primeira metade da estação de crescimento (51 a 103 dias), somente 9% do total foi absorvido. Isto significa que 91% ou 134 kg/ha foram absorvidos nos últimos 52 dias. Se o solo esgota seu fósforo no meio da estação de crescimento, o potencial de produtividade será drasticamente reduzido.

FATORES QUE AFETAM A DISPONIBILIDADE DO FÓSFORO

A maioria das culturas recupera somente 10 a 30% do fósforo dos fertilizantes durante o primeiro ano após a aplicação (**ver Conceito de Produção 4-1**). A porcentagem de recuperação varia amplamente, e depende da fonte de fósforo, do tipo do solo, da cultura, do método de aplicação e do clima. Em geral, a maior parte do fósforo residual estará disponível para as culturas subseqüentes. A disponibilidade do fósforo depende de várias condições:

- 1. Quantidade de argila** – Solos com alto teor de argila “fixam” mais fósforo do que aqueles com baixo teor de argila;
- 2. Tipo de argila** – Os solos com certos tipos de argila como a caulinita, os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (comuns em regiões com alta pluviosidade e altas temperaturas), e os minerais de argila amorfos como a alofana, imogolita e complexos húmus-Al (comuns em solos formados por cinzas vulcânicas), retêm ou “fixam” mais o fósforo adicionado do que os outros solos. Independentemente do tipo de argila, o fósforo do fertilizante é rapidamente convertido em formas menos disponíveis.

Tabela 4-4. Absorção de P_2O_5 pela cultura da soja durante a estação de crescimento.

Estádio de crescimento	Dias	Absorção de P_2O_5 kg/ha		Porcentagem da absorção total
		Por dia	Total	
Emergência a 3 folhas	40	0,17	6,80	4,6
3 folhas a 6 folhas	11	0,62	6,82	4,6
6 folhas a florescimento total	16	1,96	31,36	21,2
Florescimento total a início de formação da vagem	15	2,55	38,25	25,8
Enchimento da vagem à maturidade da semente	21	3,09	64,89	43,8
Total	103	-	148,12	100,0

New Jersey, EUA

- 3. Época de aplicação** – Quanto mais longo for o tempo de contato do solo com o fósforo adicionado, maiores são as chances para a “fixação”. Em solos com alta capacidade de “fixação”, a cultura precisa usar o fertilizante com fósforo antes da fixação ocorrer. Em outros solos, a utilização do fósforo pode durar anos. Este período crítico — por quanto tempo após a aplicação a planta pode utilizar efetivamente o fósforo dos fertilizantes — determina o programa de adubação com fósforo: aplicar ocasionalmente em grandes quantidades, como em uma rotação?, ou aplicar freqüentemente, em menores quantidades?
- 4. Aeração** – O oxigênio (O_2) é necessário para o crescimento da planta e para a absorção dos nutrientes. Ele é também essencial para a decomposição biológica da matéria orgânica do solo, que é uma fonte importante de fósforo.
- 5. Compactação** – A compactação reduz a aeração e o espaço poroso na zona radicular. Isto reduz a absorção de fósforo e o crescimento das plantas. A compactação também diminui o volume de solo que as raízes podem penetrar, limitando o acesso das mesmas ao fósforo do solo. O fato de que o fósforo se movimenta a curtas distâncias na maioria dos solos constitui-se em um problema a mais da restrição ao desenvolvimento radicular e à absorção de nutrientes, causado pela compactação.
- 6. Umidade** – O aumento da umidade do solo até níveis ótimos torna o fósforo mais disponível para as plantas, mas o excesso de umidade exclui o oxigênio, limitando o crescimento das raízes e reduzindo a absorção de fósforo.
- 7. Nível de fosfato no solo** – Solos que têm recebido, por vários anos, mais fosfato do que as culturas retiram, podem mostrar um aumento no nível de fósforo... que pode ser suficiente para reduzir a adubação de manutenção com fósforo se o nível no solo for bastante alto. É importante manter altos níveis de fósforo no solo para atingir uma ótima produção das culturas.
- 8. Temperatura** – Quando as temperaturas são adequadas para o bom desenvolvimento das plantas, elas afetam muito pouco a disponibilidade de fósforo. O calor acelera a decomposição da matéria orgânica, mas quando as temperaturas são muito altas ou muito baixas, podem restringir a absorção de fósforo pelas plantas. Este é o motivo pelo qual as culturas respondem bem à aplicação de arranque com fósforo em solos frios e/ou encharcados, mesmo com altos níveis de fósforo no solo.

9. Outros nutrientes – A aplicação de outros nutrientes pode estimular a absorção de fósforo. O cálcio em solos ácidos e o enxofre em solos básicos parecem aumentar a disponibilidade de fósforo, como faz o nitrogênio amoniacal, mas a adubação com zinco tende a restringi-la (o efeito do nitrogênio na absorção de fósforo pode ser observado no Conceito de Produção 4-2).

10. Cultura – Algumas culturas apresentam sistema radicular fasciculado, outras são do tipo pivotante. O trigo tem um sistema radicular pouco profundo, enquanto a alfafa explora fundo o perfil do solo. Conseqüentemente, as culturas diferem grandemente na sua habilidade para extrair formas disponíveis de fósforo do solo. A época e o(s) método(s) de aplicação de fósforo devem ser adequados ao sistema de produção para assegurar o uso mais eficiente.

11. pH do solo – Em solos dominados por argilas do tipo 2:1, a solubilidade dos vários compostos de fósforo é amplamente determinada pelo pH. Fosfatos de ferro, de manganês e de alumínio apresentam baixa solubilidade em água. Eles dominam os solos ácidos. Compostos insolúveis com o cálcio e com o magnésio existem acima de pH 7,0. As formas de fósforo mais solúveis e disponíveis estão na amplitude de pH 5,5 a 7,0. Isto faz com que a calagem adequada seja essencial em solos ácidos (ver Conceito de Produção 4-3).

Os mecanismos de fixação de fósforo em solos altamente intemperizados da região tropical (Ultisolos e Oxisolos dominados por óxidos de Fe, de Al e caulinita) e em solos formados de cinzas vulcânicas (Andosolos) são diferentes. A capacidade de fixação de fósforo na maioria desses solos está relacionada com a alta reatividade e afinidade das superfícies dos minerais de argila pelo fósforo. Este processo retém (fixa) quantidades apreciáveis do fósforo aplicado na amplitude de pH 5,0 a 7,0.

Nos solos altamente intemperizados dos trópicos, o alumínio e o ferro presentes nas partículas de argila são muito estáveis a valores de pH tão baixos quanto pH 5,0. Quando o pH do solo atinge valores menores que 5,3, o alumínio e o ferro são liberados para a solução do solo, e eles reagem rapidamente com o fosfato para formar compostos insolúveis que precipitam, contribuindo para o processo total da fixação de fósforo.

A calagem dos solos tropicais geralmente leva à confusão em relação ao efeito dessa prática na nutrição com fósforo. A aplicação de calcário nos solos tropicais corrige a toxidez de alumínio e a deficiência de cálcio; e a correção desses fatores leva a um aumento na absorção de fósforo, mesmo com a calagem tendo

CONCEITO DE PRODUÇÃO 4-2

O NITROGÊNIO MELHORA A ABSORÇÃO DE FÓSFORO

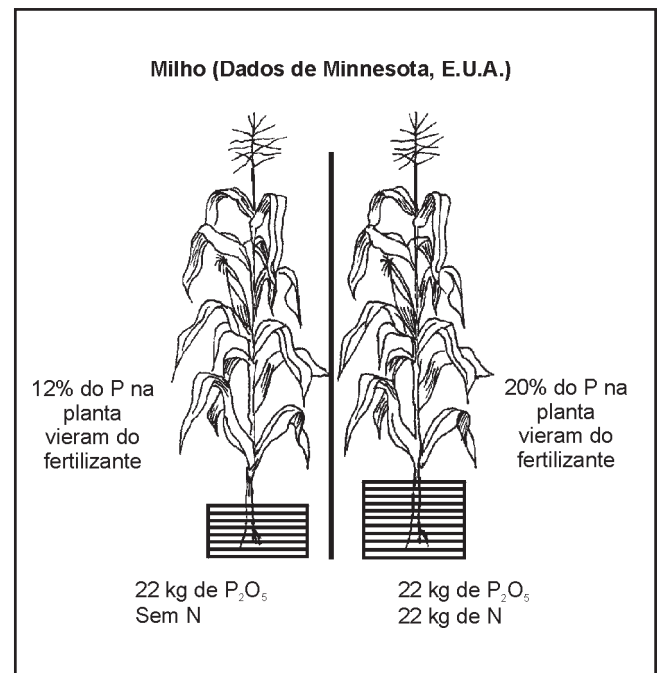
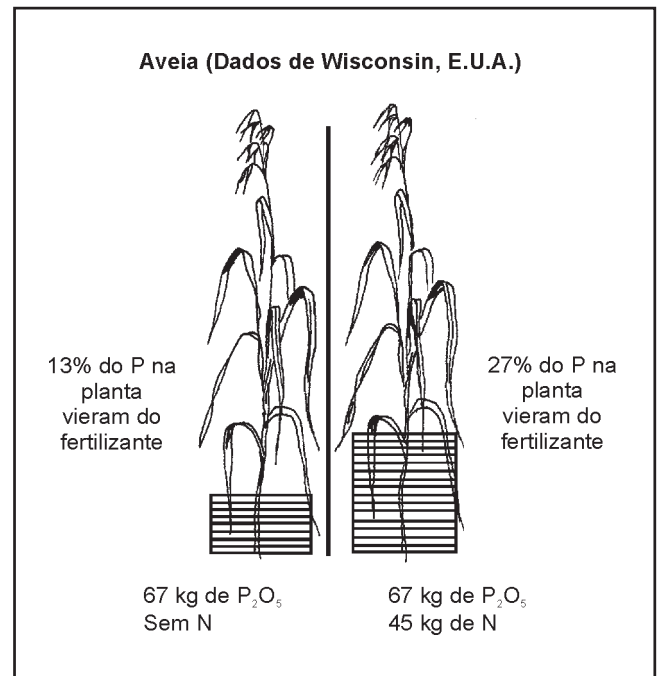
O CRESCIMENTO DAS PLANTAS na fase inicial deve ser vigoroso e rápido, para que a planta esteja bem estabelecida antes dos rigores do verão, que traz períodos secos, insetos, etc.

O fósforo é vital para o crescimento inicial. E o nitrogênio influencia a absorção de fósforo pelas plantas.

Quando aplicado com nitrogênio, o fósforo se torna mais disponível para as plantas do que quando aplicado sem nitrogênio.

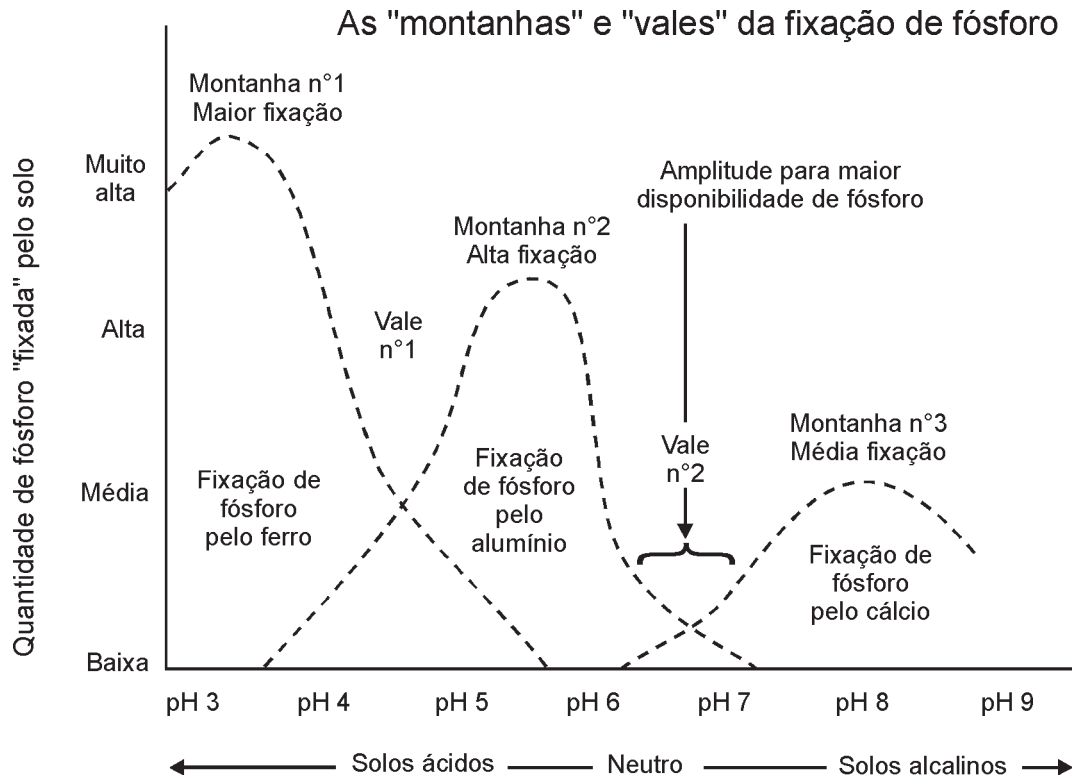
Esta influência do N na absorção do P é muito clara durante a fase inicial do crescimento e, em muitos casos, até 65% do P do fertilizante é absorvido neste período.

O amônio (NH_4^+) tem efeitos significantes na disponibilidade e absorção de fósforo. Altas concentrações de amônio retardam as reações de fixação de fósforo. A absorção de amônio ajuda a manter uma condição ácida na superfície da raiz, melhorando a absorção de fósforo.



CONCEITO DE PRODUÇÃO 4-3

A DISPONIBILIDADE DO FÓSFORO VARIA COM O pH DO SOLO



O pH do solo influencia enormemente a solubilidade dos diferentes compostos de fósforo em solos dominados por argilas do tipo 2:1. Estes solos são predominantes na região temperada do

globo terrestre, mas estão também presentes nas áreas tropicais e subtropicais. Um programa adequado de calagem é essencial para diminuir a fixação de fósforo nesses solos.

O FÓSFORO É MAIS DISPONÍVEL ENTRE pH 6,0 E 7,0

A solubilidade do fósforo indica a disponibilidade de fósforo, ou quão "fixado" ou retido ele torna-se no solo. A relação entre tipo de argila e pH do solo é importante, permitindo que se faça a diferenciação entre os mecanismos envolvidos na fixação de fósforo.

Solos dominados por argilas 2:1 (smectitas) não apresentam uma superfície reativa e retêm quantidades pequenas de fósforo na superfície dessas argilas. Nesses solos, o pH influencia muito a disponibilidade de fósforo. A diminuição do pH

(acidez) causa a fragmentação dos minerais de argila e a consequente liberação de Al^{3+} e Fe^{3+} . O fósforo aplicado é então precipitado como fosfatos de Al e Fe, os quais são compostos insolúveis, tornando o fósforo menos disponível. Neste caso, as formas mais solúveis ou disponíveis de fósforo ocorrem entre pH 6,0 e 7,0 e um programa adequado de calagem é essencial para diminuir a fixação de fósforo. O gráfico acima ilustra o efeito do pH do solo na fixação de fósforo em solos dominados por argilas 2:1.

pequeno efeito direto na fixação de fósforo. Na maioria dos casos, desde que os outros fatores limitantes sejam controlados, o efeito da calagem na diminuição da fixação de fósforo é pequeno. Este é o motivo pelo qual, independentemente do pH do solo, altas doses de fósforo são necessárias em solos tropicais para alcançar altas produções, como mostrado na Tabela 4-5.

MÉTODOS DE APLICAÇÃO DOS FERTILIZANTES FOSFATADOS

(ver Conceito de Produção 4-4)

Não existe um método pré-determinado para a aplicação dos fertilizantes fosfatados. Muitos fatores precisam ser considerados, inclusive os níveis de fertilidade do solo, a(s) cultura(s) a ser(em) cultivada(s), as práticas de manejo, os equipamentos, as épocas e outros fatores de manejo⁽¹⁾.

A “fixação” do fósforo é um ponto importante a ser considerado para se decidir o modo de aplicação deste nutriente. Há mais contato entre o fósforo dos fertilizantes e o solo quando o mesmo é aplicado a lanço, seguindo-se a aração ou gradagem, do que quando o fertilizante é aplicado em sulcos ou faixas. A fixação de fósforo é maior no sistema a lanço.

As culturas normalmente respondem mais às aplicações de fósforo em faixas do que à adubação a lanço, nos solos de baixa fertilidade, por três razões: (1) a fixação é maior quando o fertilizante é aplicado a lanço; (2) a aplicação em faixas coloca uma fonte de fósforo prontamente disponível na zona radicular; (3) a aplicação em faixas concentra outros nutrientes junto com o fósforo, por exemplo o NH_4^+ , o qual pode retardar as reações de fixação e aumentar a absorção de fósforo.

Se o agricultor quer o máximo retorno do seu investimento em fósforo, a aplicação em faixas é a melhor opção. Mas, à medida que os níveis de fertilidade au-

mentam, as vantagens das aplicações em faixas localizadas desaparecem e os potenciais de produção aumentam. Assim sendo, a decisão de aplicar a lanço, em faixas, ou em uma combinação dos dois sistemas, depende grandemente da filosofia de manejo do agricultor. Ele aduba para somente obter máximos retornos a curto prazo ou para “construir” uma oportunidade, a longo prazo, para maiores produções pela elevação dos níveis de fósforo no solo? O sistema de posse da terra tem muito a ver com essa decisão.

As aplicações a lanço, seguidas ou não de aração, apresentam várias vantagens:

1. Doses maiores podem ser aplicadas sem causar injúrias nas plantas;
2. A distribuição de nutrientes na zona radicular encoraja o enraizamento profundo, enquanto as aplicações em faixas provocam a concentração de raízes ao redor das faixas;
3. O enraizamento mais profundo permite mais contato da raiz com o solo, propiciando maior reserva de umidade e nutrientes;
4. A aplicação a lanço é a única maneira prática para aplicar o fósforo em pastagens estabelecidas.
5. A aplicação a lanço pode assegurar uma fertilidade completa de longa duração para ajudar a cultura a tirar toda a vantagem das condições favoráveis durante o período de crescimento;
6. Pode ser feita em épocas que não sejam aquelas de muito trabalho, como a de plantio.

A aplicação localizada em faixas consome bastante tempo quando feita com plantadeira ou adubadeira (de arranque) e é difícil aplicar grandes quantidades de fertilizantes usando este método. Entretanto, adubações em pré-plantio, em faixas, particularmente para nitrogênio, fósforo e enxofre, são bastante eficientes. A adubação em faixas apresenta várias vantagens:

Tabela 4-5. Respostas de produção com aplicações de fósforo em diferentes solos com alta capacidade de “fixação”.

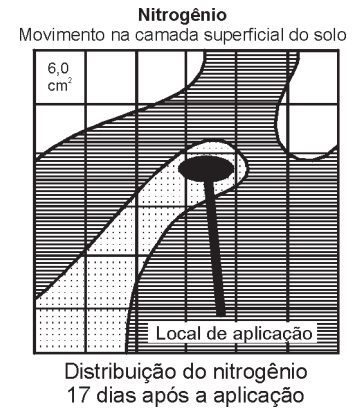
Soja Ultisolo (Venezuela)		Arroz de sequeiro Ultisolo (Panamá)		Arroz de sequeiro Oxisolo (Brasil)		Batata Andosolo (Equador)	
Dose de P_2O_5 kg/ha	Produção t/ha	Dose de P_2O_5 kg/ha	Produção t/ha	Dose de P_2O_5 kg/ha	Produção t/ha	Dose de P_2O_5 kg/ha	Produção t/ha
0	0,1	0	1,0	0	1,0	0	6,0
75	2,0	40	2,3	50	3,7	150	32,6
100	2,5	80	3,0	100	4,3	300	39,8
		120	3,7	150	4,8	450	42,5

⁽¹⁾ A adubação fosfatada corretiva, também chamada “fosfatagem”, é uma prática bastante comum nas áreas de expansão da fronteira agrícola no Brasil. Esta prática consiste em se fazer uma distribuição do fertilizante fosfatado solúvel a lanço e incorporado através de gradagem, sendo esta operação feita 60 a 90 dias após a calagem e logo antes do plantio da cultura anual. A dose usual é de 4 kg de P_2O_5 solúvel para cada 1% ou 10 g/kg de argila.

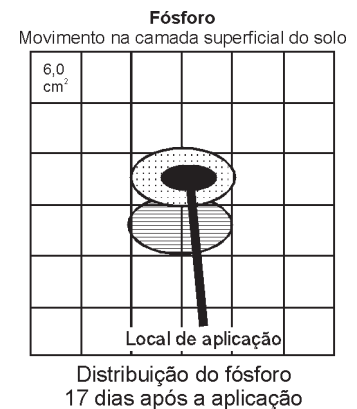
CONCEITO DE PRODUÇÃO 4-4

LOCALIZAÇÃO E MOVIMENTO DO NPK

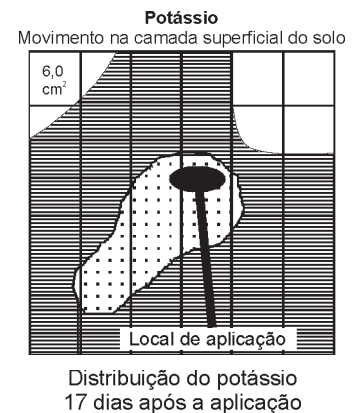
O **nitrogênio** movimenta-se livremente no solo durante o período de crescimento da planta. O posicionamento do N na zona das raízes em geral não é crítico para a interceptação radicular em sistemas convencionais de preparo. Entretanto, aplicações de nitrogênio em sulcos ou em faixas localizadas têm mostrado aumentos significativos na eficiência de uso do N sob condições de cultivo mínimo e plantio direto. Aplicações em sulcos ou em faixas podem, também, reduzir o processo de nitrificação.



O **fósforo** necessita de maior atenção quanto à localização adequada. Esta ilustração mostra como a movimentação do fósforo é restrita. O fósforo deve ser colocado onde as raízes das plantas possam interceptá-lo. A distribuição do fósforo em faixas é a maneira agrônômica mais eficiente para o caso de solos com baixa fertilidade. Aplicações de N amoniacal em faixas aumentam a absorção de fósforo.



A localização do **potássio** é crítica. Como o fósforo, ele não se movimenta muito no solo. A aplicação a lanço é geralmente mais eficiente, algumas vezes em combinação com aplicações em faixas. A aplicação de potássio em faixas em sistemas conservacionistas de preparo pode melhorar significativamente a disponibilidade de potássio, provavelmente em relação ao padrão do sistema radicular das plantas. Aplicações de potássio em faixas profundas do solo têm sido comprovadas como importantes para corrigir a deficiência de potássio no subsolo para o algodão.



- Concentração alta
- Concentração média
- Sem efeito

Movimento do NPK na camada superficial do solo
(adaptado de dados do Estado de Michigan, EUA)

1. Permite a aplicação de doses menores do que a aplicação a lanço, para alcançar os mesmos níveis de produção, em solos de baixa fertilidade.
2. É vantajosa para quem é arrendatário e que pode ter apenas um certo período de “posse da terra”, para quem não deseja aumentar os níveis de fertilidade do solo, que lhe iria ter custos extras e que beneficiaria os outros.
3. Diminui a fixação de fósforo.
4. Coloca o fósforo em posição disponível para o sistema radicular ainda reduzido das plântulas em início de desenvolvimento.
5. Dá uma oportunidade para aumentar a eficiência do fósforo e, ao mesmo tempo, aumenta as produções pela combinação de localização e doses recomendadas.

Apesar da aplicação superficial de fósforo ser geralmente o modo menos eficiente de adubar as culturas plantadas em linha, o plantio direto em áreas relativamente quentes e úmidas é uma exceção na maioria das situações. Quando uma cultura como o milho é plantada em soqueira morta ou em resíduos de culturas sem aração prévia, o fósforo aplicado superficialmente dá tão bom efeito quanto a aplicação localizada. Com resíduos na superfície, os níveis de umidade encorajam o enraizamento pouco profundo. Isto faz com que as raízes utilizem o fósforo da superfície ou próximo a ela. Cultivo reduzido sob condições de baixa fertilidade, limitação de umidade e solos frios colocam ênfase adicional na localização de fósforo.

Em solos com baixos teores de fósforo e em áreas mais frias, a aplicação localizada do fósforo é importante para muitas culturas, tanto no sistema de preparo convencional (aração e gradagem) como no sistema de cultivo reduzido. A pesquisa tem mostrado que as adubações em pré-plantio, em faixa, que formam zonas com alta concentração de fósforo, podem afetar de modo significativo a habilidade das plantas para utilizar o fertilizante fosfatado, para aumentar a produtividade e o uso eficiente de fósforo, como indicado na Tabela 4-6.

Altas concentrações de fósforo juntamente com aplicações de N-amoniacoal podem diminuir as reações de

fixação de fósforo, aumentando a disponibilidade. A localização mais profunda no solo pode, também, beneficiar a absorção de fósforo sob condições mais secas. A combinação de aplicação de fósforo no pré-plantio em faixas com aplicação localizada de arranque pode ser ainda mais eficiente, especialmente quando os solos estão com baixa temperatura, comum no início do plantio na região Norte dos EUA.

A aplicação direta do fósforo junto com sementes pequenas requer menos fertilizantes, para produzir um certo aumento na produção, do que a aplicação a lanço. Mas isto pode consumir um tempo valioso nos períodos críticos do plantio. A localização do adubo em faixas, diretamente sob a linha de semeadura, para culturas forrageiras, suplanta a adubação a lanço ou em sulcos ao lado e abaixo das sementes. O tomateiro e a cebola têm respondido melhor ao fósforo colocado diretamente abaixo da semente ou da muda.

A aplicação conjunta de amônia anidra ou soluções de uréia-nitrato de amônio (URAN) na semeadura do trigo tem se mostrado superior à aplicação do fósforo a lanço, especialmente em solos com baixos teores de fósforo.

Algumas vezes as aplicações a lanço e em sulcos são feitas em combinação, para um melhor efeito. Isto assegura um suprimento de fósforo acessível de imediato para o desenvolvimento das plântulas, e também uma reserva do nutriente por toda a estação de crescimento. O efeito de “arranque” das aplicações em faixas, mesmo em solos com alto teor de fósforo, geralmente é importante quando as temperaturas são baixas, uma condição comum para culturas plantadas cedo ou culturas sob preparo conservacionista. Certas plantas como a batata inglesa, por exemplo, respondem ao fósforo aplicado em faixas, mesmo em solos com alto teor deste nutriente.

FONTES DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

O fosfato de rocha é o material básico usado na fabricação de praticamente todos os fertilizantes fosfatados. Os depósitos mais importantes destas rochas são materiais de origem sedimentar, depositados em camadas sob o oceano e mais tarde elevados em massas de terra.

Tabela 4-6. A localização do fósforo pode apresentar efeitos significantes na produção das culturas e na eficiência de uso do fósforo.

Método de aplicação	Brasil Milho	Colômbia Milho	Panamá Arroz-sequeiro	Índia Trigo	Kansas Sorgo	Alberta Cevada
	----- t/ha -----					
A lanço	6,0	1,8	3,1	1,9	5,4	2,4
Em faixa	8,1	3,9	4,2	2,1	6,3	3,7

Análise de solo para P: baixo em todos os locais.

As reservas mundiais de fosfato de rocha são enormes, de aproximadamente 40 bilhões de toneladas. Cerca de 35 a 40% desta quantidade pode ser economicamente recuperada sob as condições tecnológicas atuais. Esta tonelagem representa fosfato suficiente para as necessidades de consumo por centenas de anos. Com a mudança da economia, mesmo quantidades maiores podem ser recuperadas. Depósitos e produção significantes de fosfato de rocha estão localizados nos EUA, Marrocos, Togo, Rússia, Jordânia, China e Oceania.

Os depósitos nos EUA (fosforitas) são encontrados na Flórida, Carolina do Norte, Tennessee, Idaho, Montana, Utah e Wyoming. Eles representam cerca de 10% das reservas mundiais conhecidas. A produção da Flórida representa 75% do total dos EUA, o restante vêm dos Estados do Oeste, do Tennessee e da Carolina do Norte⁽¹⁾.

Quase todo o fosfato de rocha é explorado por mineração superficial. Ele normalmente contém cerca de 15% de P_2O_5 e precisa ser concentrado, para ser usado como fertilizante. Uma série de tratamentos remove a maior parte da argila e de outras impurezas. Este processo é chamado de **beneficiamento**.

Após o beneficiamento, o fosfato de rocha é finalmente moído. Usualmente, ele sofre tratamentos para tornar o fósforo mais solúvel. Entretanto, os fosfatos de rocha, principalmente os reativos, são aplicados diretamente como fertilizantes em solos ácidos em alguns países. Geralmente, nestes casos, as doses aplicadas são altas (aproximadamente 1 t/ha) e atingem produções comparáveis àquelas obtidas com fertilizantes comerciais. As produções aumentam em um ano e são mantidas por vários anos à medida que o fósforo e o cálcio se dissolvem e tornam-se disponíveis para as plantas.

Os fertilizantes fosfatados são classificados em **tratados com ácidos** ou **processados termicamente**. O fósforo tratado com ácidos é, sem dúvida, o mais importante. Os ácidos sulfúrico (H_2SO_4) e o fosfórico (H_3PO_4) são essenciais na produção de fertilizantes fosfatados por esse método.

O ácido sulfúrico é produzido a partir do enxofre elementar ou do dióxido de enxofre. Mais de 60% deste ácido industrial são usados para produzir fertilizantes. Tratando-se o fosfato de rocha com ácido sulfúrico concentrado (cerca de 90 a 93%) produz-se uma mistura de ácido fosfórico e gesso. Uma filtração remove

o gesso e deixa o ácido fosfórico **verde, de processo úmido** ou **grau comercial** com cerca de 54% de P_2O_5 .

O ácido obtido pelo processo úmido pode ser concentrado ainda mais para formar o ácido superfosfórico. O ácido superfosfórico é fabricado pela evaporação da água do ácido fosfórico obtido pelo processo úmido. Durante este processo, duas ou mais moléculas de ortofosfatos se combinam para formar compostos de polifosfatos. Esses polifosfatos são usados comumente para a fabricação de fertilizantes fluidos claros. Eles contêm 68 a 80% de P_2O_5 .

O processo de acidulação com ácido sulfúrico é a técnica mais comumente utilizada para solubilizar o fósforo nos fosfatos de rocha. Fertilizantes fosfatados são também produzidos por processo de acidulação com ácido fosfórico (52-55% de P_2O_5) que resulta da reação do fosfato de rocha com ácido sulfúrico.

Alguns fertilizantes contendo fósforo (os mais comuns) e seus processos de fabricação são descritos a seguir:

- **Superfosfato simples ou normal** - é fabricado tratando-se o fosfato de rocha com 60 a 72% de ácido sulfúrico. O superfosfato simples contém cerca de 18% de P_2O_5 , 18 a 20% de cálcio e 10 a 12% de enxofre. Este produto não é mais de uso generalizado em muitos países, embora seja uma fonte adequada principalmente de fósforo e enxofre. Uma vez que ele absorve a amônia, tem sido usado para produzir superfosfatos amoniados.
- **Superfosfato concentrado ou triplo** - é obtido da reação do ácido fosfórico com fosfato de rocha. Ele contém um mínimo de 41% de P_2O_5 e 12 a 14% de cálcio.
- **Ortofosfatos de amônio** - são produzidos pela amoniação do ácido fosfórico. O fosfato de monoamônio (MAP), com o mínimo de 9% de N e 48% de P_2O_5 , e o fosfato de diamônio (DAP), mínimo de 16% de N e 45% de P_2O_5 , são produzidos pelo controle da quantidade de amônia que reage com o ácido fosfórico.
- **Polifosfatos de amônio** - são usualmente fontes fluidas de fósforo, produzidas pela amoniação do ácido superfosfórico. Esses polifosfatos apresentam uma amplitude de 40 a 70%. Análises comuns de fertilizantes polifosfatos líquidos são 10-34-0 e 11-37-0.
- **Nitrofosfatos** - são fabricados pela acidulação de fosfato de rocha com ácido nítrico. Para obtenção

⁽¹⁾ As reservas medidas de fosfato de rocha no Brasil (em termos de P_2O_5) são da ordem de 130 milhões de toneladas, o que representa 2 a 3% das reservas mundiais. Os maiores depósitos estão localizados em Patos de Minas, Tapira e Araxá (MG), Catalão e Ovidor (GO) e Jacupiranga (SP).

de um material com mais solubilidade em água, algum ácido sulfúrico ou ácido fosfórico é usado com o ácido nítrico. A maior parte dos nitrofosfatos é produzida e utilizada na Europa. No Brasil, a garantia mínima desses produtos é 14% de N, 18% de P_2O_5 e 8 a 10% de Ca.

- **Superfosfatos amoniados** – são obtidos reagindo-se o superfosfato simples ou o superfosfato triplo com a amônia. Eles são disponíveis em diferentes concentrações e solubilidade em água. A solubilidade do fósforo em tais fertilizantes é influenciada por fonte de fosfato, grau de amonificação, teor de impureza (outros sais), teor de umidade, velocidade de secagem, etc.

- **Fosfatos naturais** – são obtidos pela moagem das apatitas ou fosforitas para aplicação direta no solo. Esses fosfatos naturais formam, em geral, dois grupos distintos:

- a) **Fosfatos naturais pouco reativos** – são aqueles de origem magmática e de baixa eficiência no curto prazo para culturas anuais e bianuais. Apresentam 24% de P_2O_5 total, mínimo de 4% solúvel em ácido cítrico e 23 a 27% de Ca.

- b) **Fosfatos naturais reativos** – de origem sedimentar. Apresentam 28% de P_2O_5 total, mínimo de 9% solúvel em ácido cítrico e 30 a 34% de Ca. São produtos excelentes, comparáveis às fontes de fósforo solúveis em água, em certas situações.

- **Termofosfato** – é obtido pelo aquecimento do fosfato natural a altas temperaturas ($\pm 1.500^\circ C$) em fornos elétricos revestidos de material refratário, com ou sem o uso de aditivos à base de sódio, de cálcio, de magnésio ou apenas de sílica. A massa fundida é resfriada e posteriormente moída. O mais comum no Brasil é o termofosfato magnesiano com 17% de P_2O_5 total, 14% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico e 7% de Mg.

- **Escória de Thomas** – é um subproduto da indústria siderúrgica. O fósforo existente como impureza do minério de ferro é separado nas escórias e depois moído. Apresenta 12% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico, 20 a 29% de Ca e 0,4 a 3% de Mg. É pouco utilizada no Brasil.

- **Farinha de ossos** – os ossos são fervidos, desengordurados ou submetidos à ação de vapor em autoclave e depois moídos. Contém 20% de P_2O_5 total, 16% solúvel em ácido cítrico e 30-32% de Ca.

A fabricação do ácido fosfórico por processo térmico começa com a produção do fósforo elementar através da redução do fosfato de rocha com coque em um forno elétrico de arco voltáico. O fósforo elementar é oxidado para P_2O_5 o qual, em seguida, reage com a água para formar ácido fosfórico (H_3PO_4) grau térmico. Ácidos térmicos são muito mais puros do que os obtidos por processo úmido. Seu uso na fabricação de fertilizantes é algumas vezes preferido para a produção de fertilizantes líquidos por causa da sua pureza.

Em termos agronômicos, o ácido fosfórico grau térmico e o obtido via úmida apresentam características idênticas, incluindo as reações que esses produtos têm no solo.

Em geral, é melhor usar fontes de fósforo solúveis em água, mas em solos ácidos dos trópicos tem sido demonstrado que fosfatos naturais reativos podem ser usados como fonte de fósforo para a maioria das culturas. Neste caso, é imprescindível trabalhar em solos ácidos (pH < 5,5) e com produtos altamente reativos. Se essas condições não forem seguidas, a resposta à aplicação do fosfato de rocha é muito baixa.

O uso de fosfato de rocha em solos ácidos dos trópicos pode ter um significativo efeito residual. A Tabela 4-7 compara os resultados da aplicação do superfosfato triplo e um fosfato da rocha reativo em solos vermelhos ácidos da Colômbia.

Tabela 4-7. Resposta do arroz de sequeiro à aplicação do superfosfato triplo (SFT) e do fosfato da Carolina do Norte (NCPR) em um Oxisolo da Colômbia.

Fonte de P	Dose de P, kg/ha			Produção de arroz, t/ha		
	1992	1993	1994	1992	1993	1994
Sem P	-	-	-	2,51	2,14	1,50
SFT	100	50	50	4,54	3,21	3,53
SFT	200	100	100	4,85	4,20	3,97
NCPR	100	50	50	4,53	3,56	3,99
NCPR	200	100	100	4,91	4,60	3,88

pH do solo = 4,8; Análise de P no solo (Bray II) = 3 mg/dm³.

Variedade de arroz = *Oryza sabana* 6 (tolerante à acidez).

TERMINOLOGIA DOS FERTILIZANTES FOSFATADOS

O teor de fósforo solúvel em água, em uma fonte específica, nem sempre diz o quanto ele é disponível. Métodos químicos podem estimar rapidamente o teor de fósforo total nas várias fontes, o teor **solúvel em água** e o **teor disponível**.

O grau de solubilidade dos fosfatos contidos nos fertilizantes é descrito como: solúvel em água, solúvel em citrato, insolúvel em citrato, disponível e total:

- **O fósforo solúvel em água** pode ser extraído do material fertilizante usando-se somente água.
- **O fósforo solúvel em citrato** pode ser extraído com uma solução 1 normal de citrato neutro de amônio após a remoção do fósforo solúvel em água;
- **O fósforo disponível** é a soma da fração solúvel em água e da fração solúvel em citrato.
- **O fósforo insolúvel em citrato** é a porção remanescente após a extração com água e citrato de amônio.

- **O fósforo total** é a soma de fósforo disponível e fósforo insolúvel em citrato.

As pesquisas têm demonstrado que se o fertilizante fosfatado tiver 60% ou mais de fósforo solúvel em água, a “performance” agronômica é essencialmente igual à dos fertilizantes contendo 100% de P solúvel em água.

Nota: Ver fontes de fósforo de acordo com a legislação brasileira na Tabela 8A (Anexos).

RESUMO

As pesquisas têm demonstrado que praticamente todos os fertilizantes fosfatados comuns (à exceção dos fosfatos naturais pouco reativos) são agronomicamente semelhantes quando são aplicadas doses iguais e os métodos de aplicação são comparáveis. Existem vantagens e desvantagens, incluindo manuseio e armazenagem. A aplicação adequada deve ser feita para assegurar a melhor disponibilidade e para prevenir danos potenciais às sementes e plântulas. A escolha do produto, então, é função da preferência do agricultor, da disponibilidade do produto, do serviço de vendas e do preço. ■

CAPÍTULO 4 FÓSFORO

PERGUNTAS DE REVISÃO

1. As plantas absorvem (mais, menos) fósforo do que potássio.
2. As duas formas mais comuns de absorção de fósforo pelas plantas são _____ e/ou _____.
3. (C ou E) O pH do solo influencia a relação entre as formas de fósforo que as plantas absorvem.
4. (C ou E) O fósforo acelera a maturação da cultura.
5. As partes da planta que concentram mais fósforo são _____ e _____.
6. (C ou E) Os sintomas de deficiência de fósforo são mais facilmente identificáveis do que os de nitrogênio.
7. A fonte primária de fósforo no solo é a _____.
8. (C ou E) O fósforo “fixado” no solo é disponível para o crescimento das plantas.
9. (C ou E) Existe uma relação direta entre fósforo total e fósforo na solução do solo.
10. O fósforo do solo é repostado _____ vezes durante a estação de crescimento de uma cultura como milho e soja.
11. (C ou E) O fósforo move-se livremente no solo.
12. O fósforo do solo é (mais, menos) móvel que o potássio do solo.
13. Cerca de _____% do fósforo aplicado estão disponíveis para a cultura que está sendo explorada.
14. Aproximadamente _____% do fósforo utilizado pela cultura da soja são absorvidos na segunda metade da estação de crescimento.
15. (C ou E) A compactação reduz o acesso total das raízes ao fósforo.
16. (C ou E) O melhor método para a aplicação de fertilizantes contendo fósforo é o de distribuição em faixas.
17. A “fixação” é (maior, menor) quando o fósforo é distribuído a lanço e incorporado pela aração do que com aplicação em faixas.
18. A distribuição do fertilizante fosfatado junto com sementes pequenas requer (mais, menos) fertilizante, para atingir um certo aumento na produção, do que a aplicação a lanço.
19. O efeito de “arranque” da adubação em faixas, mesmo em solos com alto teor de fósforo, pode ser importante quando as temperaturas são _____.
20. A matéria-prima que forma a base da indústria de fertilizantes fosfatados é a _____.
21. As reservas mundiais de rocha fosfática são da ordem de _____ bilhões de toneladas.
22. Os depósitos de fósforo nos EUA representam cerca de _____% das reservas mundiais.
23. O fosfato de rocha é concentrado por uma série de operações mecânicas que removem a maior parte da argila e de outras impurezas. O processo é chamado de _____.
24. (C ou E) O fosfato de rocha é muito solúvel em água quando misturado ao solo.
25. Os fertilizantes fosfatados são classificados como _____ ou _____.
26. Os ácidos _____ e _____ são fundamentais para a produção de fertilizantes fosfatados pelo tratamento com ácidos.
27. O ácido sulfúrico é produzido a partir do _____ ou do _____.
28. O superfosfato simples é fabricado pelo tratamento da _____ com ácido _____.
29. Os fosfato de amônio são produzidos pela _____ do ácido fosfórico.
30. Para transformar P em P_2O_5 multiplique por _____.
31. O fósforo disponível é a soma das frações _____ e _____.

POTÁSSIO

	Página
• Um nutriente essencial para as plantas	67
• O potássio exerce muitas funções na planta	67
• Sintomas de deficiência nas plantas	70
• Formas de potássio no solo	70
• Como o potássio movimenta-se no solo	72
• Fertilizantes potássicos no solo	73
• Absorção de potássio pelas plantas: fatores do solo que a afetam	74
• Métodos de aplicação de fertilizantes potássicos	74
• Fontes de fertilizantes potássicos	75
• Fontes de potássio no mundo	76
• Perguntas de revisão	77

UM NUTRIENTE ESSENCIAL PARA AS PLANTAS

O potássio (K) é um nutriente essencial para as plantas. Ele é um dos três nutrientes primários, como o nitrogênio (N) e o fósforo (P).

As plantas cultivadas contêm aproximadamente a mesma quantidade de potássio e nitrogênio, mas mais potássio do que fósforo. Em muitas culturas de alta produtividade, o teor de potássio excede o teor de nitrogênio.

A Tabela 5-1 mostra a quantidade de K_2O que algumas culturas retiram do solo.

Tabela 5-1. Potássio absorvido por algumas culturas comuns a um certo nível de produção.

Cultura	Nível de produção (t)	K_2O retirado pela cultura (kg)
Alfafa (feno)	18,0	538
Algodão (fibra)	1,0	95
Amendoim	2,0	92
Arroz (inundado)	6,0	130
Banana	40,0	1.000
Batata	40,0	310
Café (grãos limpos)	1,5	130
Citros	30,0	350
Coco (10.000)	-	200
Dendê	25,0	300
Juta (fibra seca)	2,0	160
Milho	6,0	120
Seringueira (látex seco)	2,5	65
Soja	3,0	150
Tomate	50,0	286
Trigo	6,0	180

Nota: O teor de potássio nos fertilizantes é expresso na forma de equivalente de " K_2O ", apesar de, na realidade, não ocorrer K_2O como tal em materiais fertilizantes. A designação de K_2O é uma expressão padrão do teor relativo de K. Neste texto, alguns resultados são expressos em termos de K e outros em K_2O . Para transformar o K em K_2O , basta multiplicar por 1,2. Para transformar o K_2O em K, deve-se multiplicar por 0,83.

O POTÁSSIO EXERCE MUITAS FUNÇÕES NA PLANTA

O potássio é absorvido, ou retirado do solo, pelas plantas, na forma iônica (K^+). Ao contrário do nitrogênio e do fósforo, o potássio não forma compostos orgânicos nas plantas. Sua função principal parece estar ligada ao metabolismo. Ele está envolvido em vários processos nas plantas.

O potássio é vital para a fotossíntese. Quando o teor de potássio é deficiente, a fotossíntese diminui e a respiração das plantas aumenta. Estas duas condições de deficiência de potássio... redução na fotossíntese e aumento na respiração... diminuem o suprimento de carboidratos para as plantas. Outras funções do potássio:

- Ele é essencial na síntese protéica.
- Ele é importante na decomposição dos carboidratos, um processo que fornece energia para o crescimento das plantas.
- Ele ajuda a controlar o balanço iônico.
- Ele é importante na translocação de metais pesados como o ferro (Fe).
- Ele ajuda as plantas a sobrepujar os efeitos de doenças.

- Ele é importante para a formação dos frutos.
- Ele melhora a tolerância ao frio.
- Ele está envolvido na ativação de mais de 60 sistemas enzimáticos os quais regulam as taxas das principais reações metabólicas nas plantas.

Um papel importante do potássio no crescimento das plantas é a sua influência na eficiência no uso da água. O processo de abertura e fechamento dos poros das folhas das plantas, chamados estômatos, é controlado pela concentração de potássio nas células que circundam os estômatos. Uma falta de potássio faz com que os estômatos se abram apenas parcialmente e se fechem mais lentamente. Isto aumenta o estresse causado pela seca. A Tabela 5-2 mostra como o teor adequado de potássio aumenta as produções de milho sob três intensidades de chuva.

A aplicação de potássio pode, de modo eficiente, reforçar a resistência das culturas de inverno aos danos causados pelo frio ou congelamento. Dados da Tabela 5-3 indicam que a aplicação de potássio reduziu o dano pelo frio, de 61,7% sem K para 7,5% com a aplicação de 450 kg K₂O/ha.

Tabela 5-3. A aplicação de potássio reduz o dano pelo frio em plantas de colza.

Dose de K ₂ O (kg/ha)	Plantas com danos pelo frio (%)	Índice de dano pelo frio (%)
0	61,7	26,5
75	35,0	12,7
225	19,0	6,5
450	7,5	2,3

China

Grande parte dos motivos pelos quais o potássio aumenta a produção de forragens e controla certas doenças é porque ele aumenta a tolerância das plantas ao inverno. Ele permite que as culturas se estabeleçam rapidamente na primavera e também aumenta o vigor de modo que o crescimento pode continuar normal durante toda a estação.

Tabela 5-2. O potássio aumenta a produção de milho e protege contra condições anormais de umidade.

Intensidade de chuva	Pluviosidade durante a estação chuvosa cm	Produção, t/ha		Aumento devido ao K t/ha
		Baixo K	Alto K	
Indiana				
Baixa	18,0	5,7	8,2	2,5
Média	45,0	9,3	9,8	0,5
Alta	65,3	5,8	8,8	3,0
Ohio				
Baixa	23,0	7,6	10,3	2,7
Média	50,5	9,5	10,8	1,3

A importância do potássio na supressão de doenças não pode ser menosprezada. No Anuário da Agricultura, em doenças de plantas de 1953, nos EUA, o Departamento de Agricultura informou que nenhuma outra substância é mais eficiente no controle de doenças que o potássio (ver Conceito de Produção 5-1).

A Figura 5-1 mostra a relação entre a intensidade do crestamento foliar (*Cercospora kikuchii*) e a adubação potássica na soja. O efeito do potássio na diminuição da severidade da doença é ainda mais dramático quando se considera que as avaliações foram feitas no 6º e 7º anos do estudo. O efeito foi devido ao efeito residual do potássio no solo.

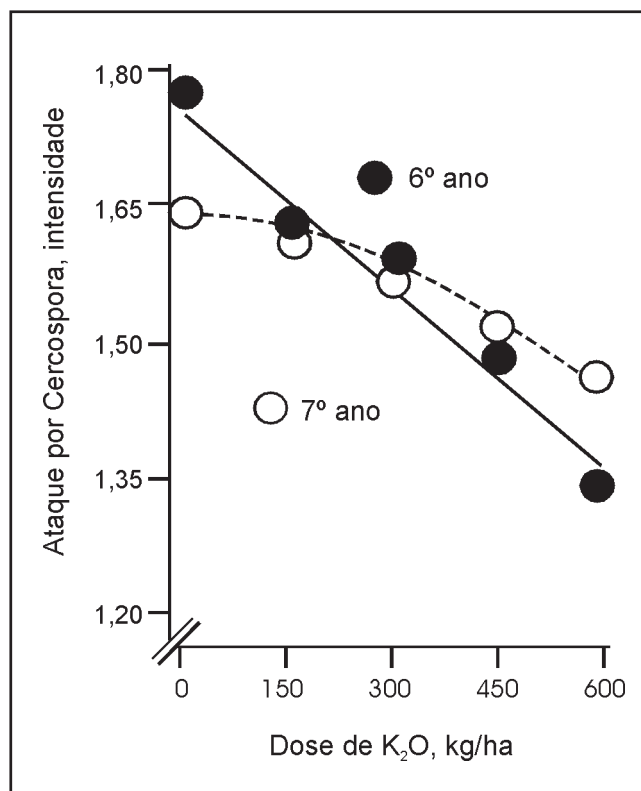
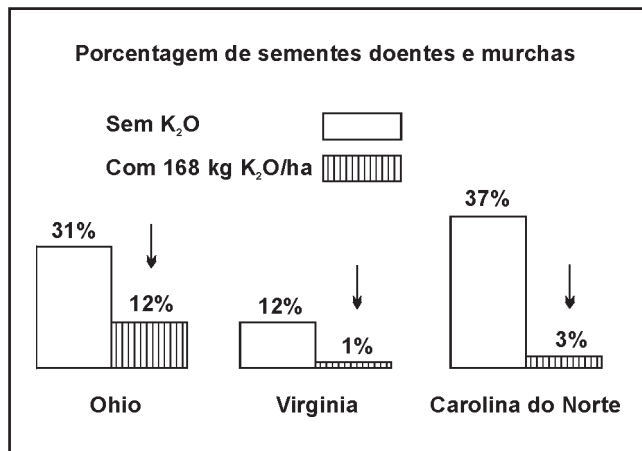


Figura 5-1. Efeito da aplicação de potássio na intensidade de *Cercospora kikuchii* em plantas de soja.

EUA

O uso adequado de potássio pode reduzir os danos por doenças e pragas nas culturas. A Tabela 5-4 mostra que tanto a incidência de doenças — die back, podridão do fruto e mosaico — como a população de pragas — trips e afídios em pimenteira — são reduzidas com a adubação potássica.

A Figura 5-2 mostra como o potássio reduziu doenças e murchamento de sementes em três estudos diferentes.



EUA

Figura 5-2. A adubação potássica melhora a qualidade da soja diminuindo a porcentagem de sementes doentes e murchas.

O potássio tem um grande impacto na qualidade da cultura, inclusive aumentando o peso de sementes e o número de sementes por espiga no milho, melhorando o teor de óleos e proteínas na soja, aumentando a quantidade de açúcar na cana-de-açúcar e na beterraba, melhorando a resistência e o comprimento da fibra do algodão e de outras plantas fibrosas, melhorando a qualidade do trigo para moagem e panificação, e melhorando o estande e a longevidade das forragens.

Dados da Tabela 5-5 mostram a melhoria significativa da qualidade da laranja pelo uso de fertilizante potássico.

Tabela 5-5. Efeito do fertilizante potássico na qualidade de laranjas.

Dose de K ₂ O kg/planta	Teor de vitamina C g/kg	Teor de açúcares redutores %	Teor de açúcar total, %
0	0,59	4,40	7,62
0,3	0,71	4,92	7,76
0,6	0,73	4,55	7,89
0,9	0,71	4,53	7,48

China

Um dos problemas na adubação é o uso não balanceado do nitrogênio e do potássio. Os agricultores geralmente usam doses adequadas ou maiores de nitrogênio porque eles sabem que isto aumenta a produção, adiciona cor verde às plantas e melhora o teor de proteína. O efeito do potássio não é tão visível como o do nitrogênio e, em geral, é negligenciado.

A Tabela 5-6 mostra porque o balanço ou equilíbrio de N e P com K é tão importante para a produção de forragem.

Tabela 5-6. O potássio aumenta a produção e reduz a infecção de manchas foliares na grama bermuda.

Nutrientes aplicados, kg/ha N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Intensidade de doença ¹	Produção de forragem seca kg/ha (2º corte)
560-0-0	3,8	3.019
560-78-0	3,9	3.236
560-0-67	1,4	5.055
560-0-134	1,0	5.245
560-78-67	1,5	4.783
560-156-156	1,1	5.604

¹ Uma intensidade de 1,0 significa sem doenças. Texas, EUA

Em geral, quando as doses de nitrogênio são aumentadas, sem serem balanceadas com potássio e outros nutrientes, as produções são reduzidas, como mostra a Tabela 5-7. Sem potássio, o aumento da dose de nitrogênio de 60 kg/ha para 120 kg/ha reduziu a produção de arroz. Com potássio, tanto a produção como a eficiência no uso de nitrogênio aumentaram.

À medida que as plantas exploram o perfil do solo, elas podem encontrar várias condições não favoráveis... estresse hídrico, barreiras químicas e físicas, insetos,

Tabela 5-4. Influência de doses de potássio na incidência de pragas, de doenças e na produção de pimenta.

Dose de K ₂ O kg/ha	Trips por folha	Afídios	Plantas afetadas (%)		Produção de frutos secos, kg/ha
			Die back e podridão do fruto	Mosaico	
0	1,67	1,54	5,3	3,1	1.528
35	1,50	1,49	4,4	2,8	1.578
70	1,38	1,42	3,5	2,6	1.626
105	1,30	1,39	3,0	2,3	1.616

Índia

doenças. Todos esses fatores diminuem o potencial de produção. O estresse por baixa fertilidade causado por pouco potássio pode ser evitado.

Tabela 5-7. Efeito da interação do nitrogênio e do potássio na produção do arroz inundado.

Dose kg/ha		Produção kg/ha	Aumento na produção %
N	K ₂ O		
60	0	3.370	-
60	56	4.834	43,4
60	112	5.226	55,1
120	0	3.084	-
120	56	4.986	61,7
120	112	5.598	81,5

China

A fertilidade do solo é um fator que pode ser controlado. Quando a baixa fertilidade é transformada em fertilidade adequada, a cultura consegue sobrepujar mais do que o estresse por baixa fertilidade. Consegue, também, sobrepujar outros estresses.

SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA NAS PLANTAS

Os sintomas de deficiência de potássio aparecem de várias formas. Um dos sintomas mais comuns da fome de potássio é a murcha ou queima ao longo das margens das folhas.

O aspecto queimado aparece primeiro nas folhas mais velhas, na maioria das culturas, especialmente gramíneas. As folhas mais novas de algumas plantas, sob certas condições, podem mostrar os sintomas primeiro... por exemplo, algodão de alta produtividade da metade para o fim do ciclo.

As plantas deficientes em potássio crescem lentamente, apresentam sistemas radiculares pouco desenvolvidos, os colmos são fracos e o acamamento é comum. As sementes e os frutos são menores e enrugados, e as plantas possuem pouca resistência às doenças. Alguns sintomas específicos de deficiência nas culturas são mostrados a seguir.

- **Alfafa** - Manchas pequenas brancas ou amareladas ao redor das extremidades das folhas; as folhas tornam-se amarelas e o tecido morre.
- **Banana** - Folhas pequenas, com amarelecimento começando na ponta das folhas velhas; a ponta da folha se curva para dentro; as folhas mortas se quebram próximo à base da lâmina.
- **Milho** - Encurtamento dos internódios e crescimento reduzido; secamento e queima da parte externa da folha enquanto as nervuras centrais permanecem verdes; espigas mal granadas e palhosas.

- **Árvores frutíferas** - As folhas verde-amareladas se curvam para cima ao longo das margens; áreas secas são formadas ao longo das extremidades as quais tornam-se esfarrapadas; frutos pequenos com queda prematura; má qualidade para armazenamento, transporte e enlatamento.
- **Dendê** - Manchas cloróticas amarelo-pálidas ao longo da pínula (folíolos) da folhagem velha; as manchas tornam-se de coloração laranja mais tarde e, eventualmente, toda a folhagem torna-se de cor castanha enferrujada e morre.
- **Batata** - Folhas superiores usualmente menores, enrugadas e mais escuras que o normal; necrose das pontas e margens; clorose internerval das folhas velhas.
- **Arroz** - Plantas raquíticas com folhas verdes escuras e raízes escuras, descoloridas e podres.
- **Soja** - O secamento ou queima começa na parte externa da folha, as extremidades das folhas tornam-se quebradiças e esfarrapadas à medida que a folha morre; sementes enrugadas não uniformes.
- **Chá** - Folhagem verde escura; pontas necróticas castanhas ou castanhas-púrpura; manchas ao longo das margens.
- **Trigo** - Plantas raquíticas e murchas, clorose das pontas e ao longo das margens; necrose das folhas velhas.

FORMAS DE POTÁSSIO NO SOLO

Apesar da maioria dos solos conter milhares de quilos de potássio, geralmente 20.000 kg/ha ou mais, apenas uma pequena porcentagem está disponível para as plantas durante a estação de crescimento — provavelmente menos de 2%.

O potássio do solo existe em três formas: não disponível, lentamente disponível e disponível:

- **Potássio não disponível** - O potássio não disponível está fortemente retido na estrutura dos minerais (rochas). O potássio é liberado à medida que os minerais do solo são intemperizados, mas isto ocorre tão lentamente que ele não fica disponível para as plantas em crescimento em um particular ano de cultivo. O processo de intemperização é tão lento que, de fato, poderia levar centenas de anos para adicionar quantidades significantes de potássio disponível ao solo. Em geral, os solos das regiões quentes e úmidas são mais intemperizados do que aqueles das regiões frias e áridas. Os solos menos intemperizados são mais ricos em potássio do que aqueles que sofreram intemperização mais intensa.
- **Potássio lentamente disponível** - O potássio lentamente disponível é aquele “fixado” ou retido en-

CONCEITO DE PRODUÇÃO 5-1

POTÁSSIO

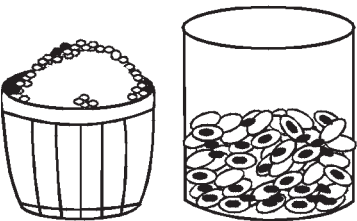
AJUDA AS CULTURAS A RESISTIREM ÀS DOENÇAS

Vários experimentos demonstraram que o potássio é um elemento chave na redução de:

- Doenças foliares e de colmo em milho
- Murcha e tombamento em algodão
- Mofos de grãos e míldios em soja
- Brusone e podridão do colmo em arroz
- Murcha de *Verticillium* em algodão
- Cárie e ferrugem em trigo
- Mancha preta e podridão do caule em batatas
- Fogo selvagem no fumo
- Manchas foliares em gramíneas

O *Anuário da Agricultura* de 1953, do Departamento de Agricultura dos EUA, trata de doenças de plantas. Este livro afirma: "Mais doenças de plantas têm sido retardadas pelo uso de fertilizantes potássicos do que qualquer outra substância". Quando o potássio mantém uma planta resistente às doenças, ele não faz isso como um agente de controle direto... mas pelo aumento dos mecanismos de resistência natural da mesma.

O potássio dá maior resistência aos colmos e talos contra a entrada de organismos invasores e o acamamento... torna as cutículas dos cereais mais espessas, o que as protege contra o mofo e outras infecções... faz com que as células fiquem mais túrgidas e menos suscetíveis à invasão de certas doenças após as chuvas pesadas... ajuda a reduzir o número de sementes de soja com características enrugadas, mofadas e descoloridas.

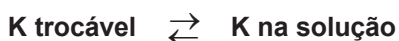
Efeito da adubação potássica sobre a produção e a qualidade da soja		
Sem K	135 kg K ₂ O/ha	
		
Produção 2.556 kg	Produção 3.161 kg	
Grãos mofados 792 kg (31%)	Grãos mofados 379 kg (12%)	
Perdas no armazenamento por má qualidade US\$ 9/t		Perdas no armazenamento por má qualidade US\$ 3,65/t
O potássio ajuda a aumentar a produção e a qualidade da soja, ajuda a diminuir o número de sementes murchas, mofadas e descoloridas		

Use potássio para dar mais força às plantas na luta contra as doenças

tre as lâminas de certas argilas do solo. Tais argilas contraem-se e dilatam-se (expandem-se) durante condições de secagem e umedecimento do solo. Os íons de potássio (K^+) podem ser retidos entre estas camadas de argila, tornando-se não disponíveis ou só lentamente disponíveis. Os solos altamente intemperizados não contêm muito dessas argilas. Os solos arenosos apresentam reservas de potássio lentamente disponíveis muito menores do que os solos que contêm altas porcentagens de argila⁽¹⁾.

- **Potássio disponível** - O potássio prontamente disponível é formado pelo potássio encontrado na solução do solo **mais** o potássio adsorvido, em forma trocável, pela matéria orgânica e pela argila do solo.

No Capítulo 1 discutiu-se a capacidade de troca de cátions (CTC). Deve-se lembrar que os colóides do solo possuem cargas negativas e atraem os cátions, como o potássio, repelindo os ânions, como os nitratos. Assim, os cátions são retidos em forma trocável (adsorvidos). Estes cátions trocáveis estão em equilíbrio com aqueles na solução do solo. Este equilíbrio pode ser representado da seguinte forma:



A maior parte dos solos contém 10 kg/ha ou menos de potássio na solução do solo. Isto supre o crescimento ativo da cultura por apenas um ou dois dias. Mas, à medida que a cultura remove o potássio da solução, parte do potássio trocável movimenta-se para a solução do solo, e é substituído por algum outro cátion no colóide do solo. Este movimento continua até que se estabeleça um novo equilíbrio.

Assim, pelo processo de troca de cátions, o potássio está continuamente disponível para o crescimento da planta se o solo contiver quantidade suficiente deste nutriente no início da estação de crescimento para suprir as necessidades da cultura.

Nota: Algum potássio pode ser trocado diretamente do colóide do solo para a raiz da planta quando os dois entram em contato direto.

A Figura 5-3 mostra as três formas de potássio no solo: não disponível, lentamente disponível e prontamente disponível. Ela mostra como estas formas relacionam-se entre si e com a disponibilidade para a planta.

COMO O POTÁSSIO MOVIMENTA-SE NO SOLO

É vital manterem-se níveis adequados de potássio no solo, porque ele não se movimenta muito, exceto nos solos arenosos e orgânicos. Ao contrário do nitrogênio e de alguns outros nutrientes, o potássio tende a permanecer onde é colocado através da adubação.

Quando o potássio se movimenta, isto ocorre geralmente por difusão, lentamente e a curtas distâncias, através de filmes de água que circundam as partículas do solo. As condições de seca diminuem este movimento e os altos níveis de potássio no solo o aceleram. A Figura 5-4 ilustra como o potássio se movimenta no solo.

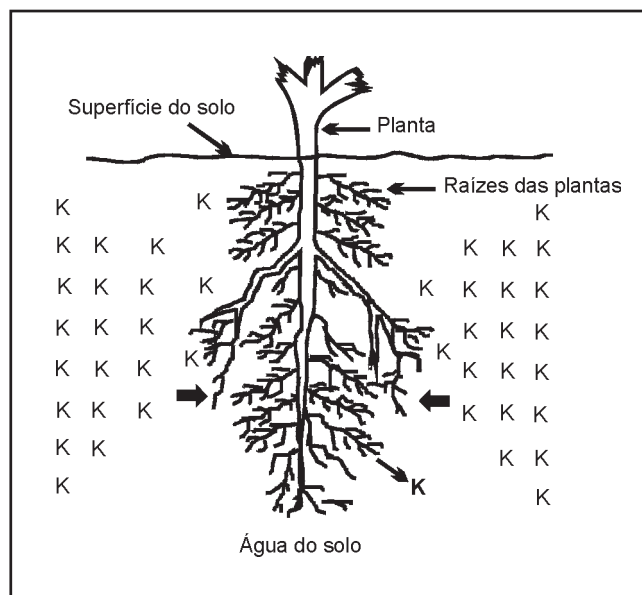


Figura 5-4. O potássio movimenta-se para as raízes das plantas por difusão, um processo lento.

As raízes das culturas geralmente entram em contato com menos de 3% do solo no qual elas se desenvolvem. Assim, o solo precisa estar bem suprido com potássio para assegurar a quantidade deste nutriente de que as plantas necessitam durante os vários estádios de crescimento até a colheita. Observando-se o volume total de raízes de milho nota-se que elas ocupam menos de 1% do volume do solo. Isto significa que as raízes de milho contactam **menos de 1% dos nutrientes disponíveis no solo.**

⁽¹⁾ O fenômeno da “fixação” de potássio, muito comum em regiões em que predominam argilas expansivas, é relativamente pouco comum no Brasil. A grande maioria dos solos brasileiros, notadamente os Latossolos, não apresentam este problema.

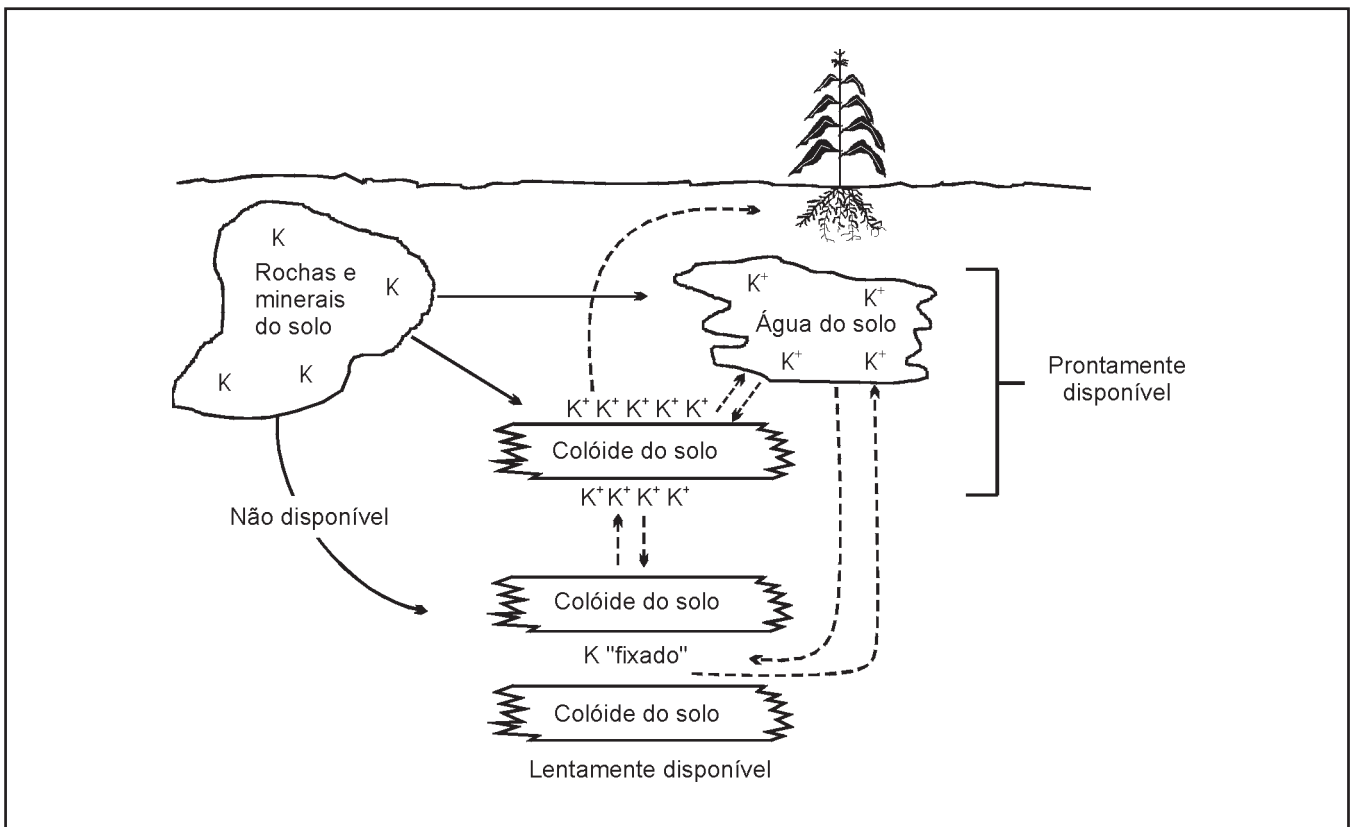


Figura 5-3. Dinâmica entre as várias formas de potássio no solo.

FERTILIZANTES POTÁSSICOS NO SOLO

Nas seções precedentes foram identificadas duas formas de potássio como sendo prontamente disponíveis para a cultura em crescimento. Elas são potássio solúvel, ou em solução, e potássio trocável.

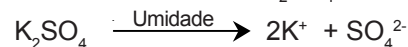
- K solúvel ou em solução... encontrado na água do solo.
- K trocável... retido fracamente na forma trocável pelas argilas e matéria orgânica do solo (colóides).

As raízes das plantas podem absorver o potássio da solução ou o potássio trocável e usá-los para aumentar as produções das culturas. A questão é: que forma o fertilizante toma quando é aplicado ao solo? Em outras palavras, que forma o fertilizante potássico toma quando é aplicado ao solo e se dissolve na solução do solo?

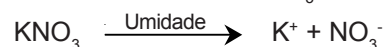
O potássio no fertilizante (dos fertilizantes comerciais, esterco, resíduos das culturas, plantas de cobertura, etc.) toma uma forma iônica quando se dissolve. Conseqüentemente, o potássio de todas as fontes é o mesmo. Os exemplos seguintes ilustram este ponto.

- Cloreto de potássio (KCl): $\text{KCl} \xrightarrow{\text{Umidade}} \text{K}^+ + \text{Cl}^-$

- Sulfato de potássio (K_2SO_4):



- Nitrato de potássio (KNO_3):



- Matéria orgânica $\xrightarrow[\text{Mineralização}]{\text{Umidade}}$ $\text{K}^+ + \text{ânion(s) acompanhante(s)}$; o balanço elétrico é mantido.

Quando o potássio está na forma K^+ , não faz diferença qual a fonte original do mesmo... todo K^+ é agora o mesmo e sujeito ao mesmo ciclo no solo. Um ou mais dentre vários caminhos podem ser seguidos:

- Pode ser atraído para as superfícies das argilas e da matéria orgânica do solo e frouxamente retido na forma trocável até ser absorvido pelas raízes das plantas ou substituído nos pontos de troca por outro cátion.
- Parte pode permanecer na solução do solo.
- Parte pode ser imediatamente absorvida pela cultura em crescimento.
- Parte pode ser lixiviada, em solos muito arenosos e orgânicos. Mesmo em solos arenosos, contudo,

pouco potássio do fertilizante é lixiviado para fora da zona das raízes. Como a matéria orgânica somente atrai fracamente o K^+ nos seus pontos de troca da CTC, o potássio pode ser lixiviado dos solos orgânicos.

- Parte pode ser “fixada” ou convertida em uma forma não disponível ou lentamente disponível em alguns solos. Ver Figura 5-3. Como está ilustrado na figura, o potássio fixado é somente lentamente disponível. A capacidade de fixação de potássio em alguns solos explica porque a análise de solo nem sempre reflete as aplicações do fertilizante e seus efeitos no aumento dos valores na análise de solo. O potássio fixado não é medido nas análises de solo⁽¹⁾.

ABSORÇÃO DE POTÁSSIO PELAS PLANTAS: FATORES DO SOLO QUE A AFETAM

O potássio é relativamente imóvel no solo... atingindo as raízes das plantas principalmente por difusão. Como consequência, qualquer fator restringindo o crescimento das raízes e reduzindo a taxa de difusão pode diminuir a absorção de potássio. Vários desses fatores serão discutidos a seguir.

- **Aeração do solo** - A absorção de potássio é mais afetada por má drenagem do que a maioria dos outros nutrientes. Sistemas de plantio direto ou cultivo mínimo e a compactação limitam a absorção de potássio e aumentam os problemas de deficiência, principalmente por causa da aeração reduzida e do pouco crescimento radicular.
- **Análise de solo para potássio** - À medida que o nível de potássio na análise de solo diminui, a absorção de potássio pelas raízes também diminui.
- **Fixação** - Os solos com alta capacidade para “segurar” o potássio e mantê-lo em forma não disponível reduzem as quantidades disponíveis para a absorção pelas plantas.
- **CTC** - Em geral, solos com alta CTC têm maior capacidade de armazenamento e de suprimento de potássio.
- **Temperatura do solo** - Baixas temperaturas reduzem a disponibilidade e a absorção de potássio pelas raízes das plantas. Este efeito pode ser parcialmente neutralizado por aumento dos níveis de potássio no solo.
- **Umidade do solo** - A umidade é necessária para a movimentação do potássio... por difusão... até

as raízes das plantas, para a absorção. Tanto o estresse por seca como por excesso de umidade reduzem a absorção do potássio.

O solo por si... suas características gerais... determinam quão eficientemente uma certa cultura está apta para absorver e usar o potássio. Essas características incluem o material de origem do qual o solo é formado, a quantidade e os tipos de argila que ele contém, a vegetação sob a qual ele é formado, a topografia, a drenagem, a profundidade, e assim por diante. Um agricultor precisa aprender a manejar o recurso solo, a ajustar as práticas para otimizar seu potencial de produtividade (inclusive o uso eficiente de potássio) e melhorá-lo onde for possível.

MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES POTÁSSICOS

Não existe a melhor maneira para se aplicar o potássio. Os métodos dependem de muitas condições do solo e da cultura... e de outras práticas de manejo. Alguns fatores influenciam a escolha do método de aplicação:

- Cultura
- Mão-de-obra e equipamento disponíveis
- Nível de fertilidade do solo
- Tipo de solo
- Dose e época de aplicação do fertilizante
- Uso de produtos químicos para a proteção das culturas combinados com o fertilizante
- Temperatura do solo
- Condição de umidade do solo.

Uma série de métodos de aplicação de potássio tem sido avaliada por pesquisadores e agricultores. Existem muitas variações desses métodos, incluindo:

- A lanço sem incorporação
- A lanço com incorporação
- Localização direta com a semente
- Em faixas, incluindo várias combinações de distâncias abaixo e ao lado das sementes
- Localização profunda ou com facão
- Localização em camalhões ou em covas
- Faixas superficiais
- Aplicação na água de irrigação (fertirrigação)
- Combinação dos métodos acima.

⁽¹⁾ Devem-se ressaltar as perdas consideráveis de potássio (e também de outros cátions) por lixiviação sob condições de solos muito arenosos, com baixo teor de matéria orgânica e sujeitos a índices pluviométricos elevados. Em geral, estes solos exigem cuidados extras de manejo para a sua manutenção no processo produtivo, com o passar dos anos.

Todos esses métodos podem ser considerados como variações entre os três extremos: (1) aplicação em faixas, (2) camalhões ou covas, com altas concentrações de potássio mas com um mínimo de contato com o solo, e (3) a lanço, com incorporação na camada arável.

As aplicações em camalhão e cova ou faixa e linha concentram os nutrientes, permitindo um crescimento inicial rápido. Isto é importante para as plantas jovens, com sistema radicular limitado, particularmente em solos frios e/ou compactados. Mas, o excesso de fertilizante colocado muito perto da semente ou da plântula pode reduzir a germinação e/ou causar injúrias às raízes por causa das altas concentrações salinas. A aplicação de fertilizante potássico em camalhão ou cova deve ser feita ao lado do sistema radicular da planta, e o potássio em linha deve ser colocado abaixo e ao lado da semente para diminuir o potencial de dano.

A distribuição a lanço antes do plantio pode ser a maneira mais conveniente de se aplicar grandes quantidades de potássio e de outros nutrientes. Quando os níveis de fertilizantes do solo são adequados, este método é tão eficiente quanto as aplicações em linha. Entretanto, alguns solos podem “fixar” o potássio ou fazer com que quantidades significativas deste nutriente fiquem indisponíveis. Isto, evidentemente, reduz a imediata eficiência das aplicações a lanço.

A aplicação de potássio no outono na cultura do milho, em “ridge” ou “ridge till” (camalhões) tem-se mostrado uma maneira eficiente para aumentar a absorção de potássio e aumentar as produções nos EUA. Entretanto, o motivo específico para o aumento da deficiência de potássio em milho no sistema de “ridge till”, mesmo em solos com altos teores de potássio, não é conhecido. Os agricultores devem estar alertas para este problema em potencial e sua solução para atingir ótimas produções e lucros.

A combinação das aplicações em linha e a lanço é geralmente a melhor maneira de se aplicar fertilizantes. Ela propicia o nutriente para uso imediato e uma reserva dele para ser utilizada durante toda a estação de crescimento. Em geral, as respostas das culturas aos diferentes métodos de aplicação de potássio não são tão marcantes nem consistentes como para nitrogênio e fósforo. Entretanto, condições de solo frio, compactado ou seco, tendem a impor mais estresse na absorção de potássio e podem justificar a localização de altas concentrações de potássio nas proximidades do sistema radicular em desenvolvimento.

Para a maioria das culturas anuais, incluindo grãos e legumes, os fertilizantes potássicos devem ser aplicados no plantio ou no transplantio, uma vez que as plantas absorvem uma grande parte do potássio nos estádios iniciais. Mas, para alguns solos mais areno-

sos, com grande potencial de perdas por lixiviação, aplicações parceladas são recomendadas.

Para culturas perenes, como as árvores frutíferas, os fertilizantes potássicos devem ser aplicados tomando-se por base as características de exigências da cultura. Por exemplo, para plantas cítricas, é recomendado que o fertilizante potássico seja aplicado três vezes ao ano: antes do florescimento para aumentar o “pegamento” das flores, no estágio de crescimento dos frutos para seu melhor desenvolvimento, e na colheita para maior resistência das plantas a invernos rigorosos e para desenvolvimento de primórdios florais para a próxima safra.

FONTES DE FERTILIZANTES POTÁSSICOS

O potássio elementar não é encontrado em estado puro na natureza devido à sua alta reatividade química. Os depósitos de potássio ocorrem como: (1) leitos de sais sólidos abaixo da superfície da crosta terrestre e (2) salmouras de lagos ou mares em extinção.

O potássio é produzido através de quatro sistemas de mineração:

- **Método convencional** - compreende a abertura de túneis subterrâneos, perfurações e uso de explosivos.
 - **Método contínuo** - usa máquinas especialmente desenvolvidas que removem os minerais diretamente dos veios, sem explosões.
 - **Método de solução** - consiste em bombear soluções quentes até o leito de potássio, dissolver os sais e transportar a salmoura até a superfície, para a operação de refino.
 - **Método de recuperação de salmouras** - o potássio e outros minerais são obtidos por evaporação solar de salmouras naturais de superfícies em lagos em fase de extinção, tais como o Grande Lago Salgado nos EUA, o Mar Morto em Israel e Jordânia e o Lago Salgado Qinghai na China.
- O potássio é extraído de um grande número de minerais. A silvinita, a silvita e a langbeinita são os mais importantes.
- **A silvinita** é formada principalmente por cloreto de potássio (KCl) e cloreto de sódio (NaCl), e contém 20-30% de K_2O .
 - **A silvita** constitui-se principalmente de KCl, e contém cerca de 63% de K_2O .
 - **A langbeinita** é formada, em sua maior parte, por sulfato de potássio (K_2SO_4) e sulfato de magnésio ($MgSO_4$), e contém 23% de K_2O . (Salmouras contendo potássio apresentam cerca de dois terços de água e contém cerca de 3% de K_2O).

- **A kainita** é uma combinação de cloreto de potássio e sulfato de magnésio e contém cerca de 19% de K_2O , 9 a 10% de Mg e 13% de S. O minério kainita é fonte importante de potássio na Alemanha, Rússia e Sicília.

Cloreto de potássio (KCl) - o cloreto de potássio, ou muriato de potássio, concorre com mais de 90% do potássio vendido nos EUA e no Canadá. É solúvel em água e contém 60-62% de K_2O .

A maior parte do KCl produzido nos EUA vem da silvinita, mas uma pequena parte vem de salmouras. O minério bruto, impuro, é refinado para uso como fertilizante, por processo de cristalização ou flotação. A maior parte do KCl para fins agrícolas é produzida pelo processo de flotação.

O cloreto de potássio fertilizante é disponível em cinco tamanhos de partículas: (1) branco solúvel, (2) "standard" especial, (3) "standard", (4) "coarse" (grosso) e (5) granular. A forma granular é adequada para mistura de produtos. O tipo branco solúvel é ideal para líquidos claros.

Sulfato de potássio (K_2SO_4) - também é chamado de sulfato de potassa. Contém cerca de 50% de K_2O e 18% de enxofre. Em decorrência do seu teor de cloro ser menor que 2,5%, este fertilizante é usado em culturas sensíveis ao cloro, como o fumo, e também para fornecer enxofre. Representa cerca de 6% do total de potássio comercializado. O sulfato de potássio pode ser usado nos casos em que os acúmulos de cloreto são um problema.

Sulfato de potássio e magnésio ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$) - também chamado de sulfato de potássio e magnésia. Contém cerca de 22% de K_2O , 11% de magnésio e 22%

de enxofre. Ocorre na natureza como mineral langbeinita, que é refinado para produzir o fertilizante comercial. É uma boa fonte de potássio e magnésio solúveis em água e é muito importante para os casos em que magnésio e/ou enxofre são deficientes, ou para o uso em culturas sensíveis ao cloro.

Nitrato de potássio (KNO_3) - o nitrato de potássio contém pouco ou nenhum cloro ou enxofre. O nitrato de potássio apresenta cerca de 44% de K_2O e 13% de nitrogênio. O nitrato de potássio é amplamente usado em aplicações foliares em fruteiras, legumes e algodão.

A Tabela 5-8 apresenta um resumo dos principais fertilizantes potássicos.

FONTES DE POTÁSSIO NO MUNDO

A América do Norte tem as maiores reservas conhecidas de potássio no mundo, principalmente pelos gigantescos depósitos de minérios de potássio no Canadá. A maioria desses depósitos está localizada nas províncias de Saskatchewan e Manitoba, com reservas adicionais localizadas e exploradas em New Brunswick. A produção nos Estados Unidos é localizada principalmente nos Estados do New México (minas subterrâneas) e Utah (salmoura).

Fora da América do Norte, os depósitos e a produção de potássio estão localizados na França, Alemanha, Itália, Espanha, Inglaterra, Israel, Jordânia, Rússia, Bielorrússia, Ucrânia, China e Brasil. Os minerais potássicos nesses depósitos são variáveis. A produção em Israel, Jordânia e China são principalmente de salmoura, os outros depósitos são explorados em minas subterrâneas. A produção brasileira em 1996 foi de 240.000 toneladas de K_2O , que representou 12% do consumo interno. ■

Tabela 5-8. Principais fertilizantes contendo potássio.

Material	Composição (%)				
	K_2O	Mg	S	N	Cl
Cloreto de potássio (KCl)	58-62	-	-	-	45-48
Sulfato de potássio (K_2SO_4)	48-50	-	15-17	-	-
Sulfato duplo de potássio e magnésio ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$)	18-22	11	22-24	-	-
Nitrato de potássio (KNO_3)	44	-	-	13	-

Nota: Ver fontes de potássio de acordo com a legislação brasileira na Tabela 9A (Anexos).

CAPÍTULO 5 POTÁSSIO

PERGUNTAS DE REVISÃO

1. O potássio é um _____ das plantas. Os outros dois são _____ e _____.
2. A maioria das culturas contém (mais, menos, mais ou menos igual) potássio do que fósforo.
3. Para transformar kg de K em K_2O multiplique por _____; para transformar kg de K_2O em kg de K multiplique por _____.
4. (C ou E) O potássio forma vários compostos nas plantas.
5. (C ou E) O potássio aumenta a tolerância às baixas temperaturas e a resistência das plantas às doenças.
6. A principal função do potássio no crescimento das culturas é aumentar a eficiência no uso da _____ através da regulação da abertura e fechamento dos _____, pequenos poros na superfície da folha.
7. (C ou E) O potássio aumenta o peso de sementes mas não afeta o número de sementes nas espigas de milho.
8. Um dos sintomas mais comuns de deficiência de potássio é a queima _____.
9. Em _____ ocorrem manchas pequenas, brancas ou amareladas, ao longo das extremidades das folhas quando o potássio é deficiente.
10. A maioria dos solos contém _____ quilogramas ou mais de potássio por hectare.
11. Menos de _____% do potássio do solo é prontamente disponível para uma cultura.
12. O potássio ocorre em três formas no solo: _____, _____ e _____.
13. (C ou E) O potássio é um cátion.
14. (C ou E) Com o passar do tempo, o potássio não disponível torna-se disponível.
15. A maioria dos solos contém _____ kg ou menos de potássio por hectare na solução do solo.
16. (C ou E) O potássio no solo movimenta-se principalmente por _____, para atingir as raízes e para a absorção e o uso pelas plantas em crescimento.
17. (C ou E) A seca restringe o movimento do potássio no solo.
18. O volume total das raízes do milho ocupa menos de _____% do volume total do solo.
19. Quando o cloreto de potássio (KCl) é aplicado ao solo, ele dissocia-se em íons de _____ e _____, se houver umidade adequada.
20. Todas as fontes de potássio adicionadas ao solo _____ para formar K^+ .
21. (C ou E) Após o fertilizante contendo potássio reagir com o solo, este potássio não difere de outras formas deste nutriente existentes no solo.
22. (C ou E) O potássio do fertilizante pode ser absorvido quase que imediatamente pela cultura em desenvolvimento, quando misturado ao solo.
23. O potássio é considerado como um nutriente imóvel no solo, mas pode lixiviar em solos _____ ou _____.
24. A absorção de potássio pelas raízes das plantas é afetada por vários fatores do solo incluindo _____, _____, _____ e _____.

25. (C ou E) O tipo de solo e o nível de fertilidade influenciam os métodos de aplicação dos fertilizantes contendo potássio.
26. Uma vantagem das aplicações em camalhões, ou covas, ou em linhas é que _____ fica disponível para crescimento prematuro e rápido das culturas.
27. A aplicação em linha deve ser feita _____ e _____ do nível da semente para reduzir o potencial de dano por salinidade.
28. (C ou E) Frequentemente, deve-se fazer uma combinação das aplicações em linha e a lanço.
29. (C ou E) O potássio elementar não é encontrado em estado puro na natureza.
30. Os três minerais importantes contendo potássio explorados para produção de fertilizantes são _____, _____ e _____.
31. A silvita é composta principalmente de _____ e contém cerca de _____% de K_2O .
32. A fonte mais comum de K é o _____. Ele contém _____% de equivalente em K_2O .
33. O sulfato de potássio apresenta _____% de K_2O e _____% de enxofre.
34. O sulfato de potássio e magnésio contém _____% de K_2O , _____% de magnésio e _____% de enxofre.
35. O nitrato de potássio contém _____% de K_2O e _____% de N.

OS NUTRIENTES SECUNDÁRIOS

	Página
• Nutrientes essenciais às plantas	79
• CÁLCIO	80
- Funções do cálcio nas plantas	80
- Sintomas de deficiência nas plantas	80
- O cálcio no solo	80
- Fontes de cálcio	80
• MAGNÉSIO	81
- Funções do magnésio nas plantas	81
- Sintomas de deficiência nas plantas	81
- O magnésio no solo	81
- Fontes de magnésio	82
• ENXOFRE	82
- Funções do enxofre nas plantas	82
- Sintomas de deficiência nas plantas	82
- Enxofre e nitrogênio	82
- O enxofre no solo	83
- Fontes de enxofre	84
• Perguntas de Revisão	86

NUTRIENTES ESSENCIAIS ÀS PLANTAS

O cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e o enxofre (S) são chamados macronutrientes secundários. Isto não significa que eles têm um papel secundário no crescimento das plantas. Eles são tão importantes para a nutrição das plantas quanto os nutrientes primários, apesar das plantas, de modo geral, não os exigirem em grandes quantidades. Muitas culturas contêm o teor de enxofre semelhante ao de fósforo, e algumas vezes mais. As deficiências dos nutrientes secundários podem reduzir o crescimento das plantas tanto quanto as dos nutrientes primários.

A Tabela 6-1 mostra as quantidades de cálcio, magnésio e enxofre contidas em algumas culturas.

Um levantamento de nutrientes em 104 solos de 13 províncias da China, feito no fim da década de 80, indicou que 18%, 14% e 23% dos solos são deficientes em cálcio, magnésio e enxofre, respectivamente.

Como mostrado na Tabela 6-2, as produções de matéria seca foram de 36 a 50% menores quando o cálcio, o magnésio ou enxofre não foram adicionados a esses solos.

Tabela 6-1. Quantidades de cálcio, magnésio e enxofre em algumas culturas.

Cultura	Nível de produção (t)	Quantidade na cultura total (kg)		
		Ca ¹	Mg	S
Alfafa	20	218	50	50
Gramma bermuda	20	65	32	55
Milho	10	43	58	30
Algodão	1	14	23	20
Sorgo granífero	9	67	45	44
Citros	60	90	25	²
Amendoim	4	20	25	21
Arroz	8	23	16	14
Soja	4	29	27	22
Tomate	90	33	40	60
Trigo	4	18	20	17

¹ Estimado; ² Dados não disponíveis.

Tabela 6-2. Levantamento de nutrientes em 104 solos de 13 províncias na China.

Tratamento	Porcentagem de solos deficientes	Amplitude na produção relativa de mat. seca, %	Média de matéria seca, %
Sem Ca	18	2-85	50
Sem Mg	14	34-90	74
Sem S	23	42-92	72

CÁLCIO

FUNÇÕES DO CÁLCIO NAS PLANTAS

O cálcio é absorvido pelas plantas como cátion Ca^{++} . Uma vez dentro da planta, o cálcio funciona de várias maneiras, incluindo as seguintes:

- Estimula o desenvolvimento das raízes e das folhas.
- Forma compostos que são parte das paredes celulares. Isto reforça a estrutura das plantas.
- Ajuda a reduzir os nitratos (NO_3^-) nas plantas.
- Ajuda a ativar vários sistemas enzimáticos nas plantas.
- Ajuda a neutralizar ácidos orgânicos nas plantas.
- É essencial para o desenvolvimento das vagens no amendoim.
- Influencia indiretamente a produção por diminuir a acidez do solo (carbonato de cálcio). Isto reduz a solubilidade e toxidez do manganês, do cobre e do alumínio.
- Ajuda indiretamente a produção, melhorando as condições para o desenvolvimento das raízes, estimulando a atividade microbiana e aumentando a disponibilidade de molibdênio e a absorção de outros nutrientes.
- É exigido em grandes quantidades pelas bactérias fixadoras do nitrogênio.

SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA NAS PLANTAS

O pouco crescimento do sistema radicular é um sintoma comum da deficiência de cálcio. As raízes deficientes em cálcio geralmente escurecem e apodrecem.

As folhas jovens e os outros tecidos novos desenvolvem sintomas porque o cálcio não é translocado dentro da planta. Os tecidos novos precisam de pectato de cálcio para a formação da parede celular. Assim, as deficiências de cálcio causam um aspecto gelatinoso nas pontas das folhas e nos pontos de crescimento. Em casos severos, o ponto de crescimento morre⁽¹⁾.

As deficiências de cálcio raramente aparecem no campo porque os efeitos secundários de deficiência,

como a acidez elevada, geralmente limitam primeiro a produção. As deficiências são mais comuns em culturas como o amendoim e as hortaliças⁽²⁾.

O CÁLCIO NO SOLO

As quantidades totais de cálcio no solo variam de menos de 0,1% a mais de 25%. Os solos calcários, áridos, contêm os maiores níveis deste nutriente.

Os solos orgânicos recentemente drenados geralmente contêm muito pouco cálcio e apresentam valores de pH extremamente baixos. Os solos argilosos geralmente contêm mais cálcio do que os solos arenosos.

Uma vez que o cálcio existe como um cátion, ele é governado pelo fenômeno de troca de cátions, assim como os outros cátions, e é retido como Ca^{2+} trocável nas superfícies com cargas negativas das argilas e da matéria orgânica do solo.

O cálcio é o cátion dominante e, normalmente, ocupa 30% ou mais dos pontos do complexo de troca de cátions dos solos corrigidos.

Como outros cátions, o cálcio está também presente na solução do solo. Ele é parte da estrutura de vários minerais do solo. Na realidade, minerais como a dolomita, a calcita, a apatita e os feldspatos cálcicos são a maior fonte de cálcio no solo.

FONTES DE CÁLCIO

O cálcio pode ser fornecido de várias formas. Em decorrência da maior parte dos solos deficientes em cálcio ser ácida, um bom programa de calagem pode adicionar cálcio de modo eficiente. Tanto o calcário calcítico como o magnesiano e o dolomítico são fontes excelentes. O gesso também pode suprir cálcio quando o pH do solo é suficientemente elevado para não necessitar de calagem. O superfosfato simples — que contém 50% de gesso — e também em menor intensidade o superfosfato triplo, podem adicionar cálcio ao solo. Algumas fontes comuns de cálcio são mostradas na Tabela 6-3⁽³⁾.

⁽¹⁾ Uma das maiores limitações ao desenvolvimento profundo do sistema radicular das culturas, notadamente nos solos sob vegetação de cerrado, é a deficiência de cálcio, em geral associada à acidez e toxidez de alumínio. Estas condições de solo têm sérias implicações na menor tolerância aos estresses causados por veranicos ou secas mais prolongadas (ver Conceito de Produção 1-9).

⁽²⁾ A podridão estilar do tomateiro é provocada pela deficiência de cálcio. Em alguns casos, as folhas apresentam teores normais deste nutriente, enquanto o fruto se mostra deficiente devido à pequena translocação e ao transporte unidirecional do Ca no xilema.

⁽³⁾ Além de ser uma excelente fonte de enxofre e cálcio para as plantas, o gesso têm mostrado efeitos positivos em experimentos de campo, aplicado à superfície, no aprofundamento das raízes de plantas cultivadas em áreas com solos ácidos. Em alguns casos, isto leva à melhor absorção de água e nitratos das camadas mais profundas do solo.

Tabela 6-3. Fontes comuns de cálcio.

Material	Ca (%)	Valor neutralizante relativo*
Calcário calcítico	32	85 a 100
Calcário magnesiano	27	90 a 104
Calcário dolomítico	22	95 a 108
Escória básica	29	50 a 70
Gesso	22	Nenhum
Margas	24	15 a 85
Cal hidratada	46	120 a 135
Cal virgem	60	150 a 175

* Com base no carbonato de cálcio puro a 100%.

Quando se usarem fontes de cálcio que não sejam o calcário calcítico, magnesiano ou dolomítico moídos, deve-se ter cuidado com a aplicação. O excesso de cal hidratada ou cal virgem pode esterilizar parcialmente o solo.

A adição de grandes quantidades de cálcio e magnésio em solos deficientes em potássio, ou a aplicação de cálcio em um solo deficiente em magnésio, podem causar o desequilíbrio nutricional e o crescimento reduzido da cultura. Forneça todos os nutrientes para diminuir as condições limitantes ao crescimento.

MAGNÉSIO (Mg)

FUNÇÕES DO MAGNÉSIO NAS PLANTAS

O magnésio é absorvido pelas plantas como cátion Mg^{++} . Uma vez dentro da planta, ele exerce várias funções. O magnésio é o átomo central na molécula da clorofila e, assim, ele está envolvido ativamente na fotossíntese. O magnésio e o nitrogênio são os únicos nutrientes do solo que são constituintes da clorofila. A maior parte do magnésio nas plantas é encontrada na clorofila. As sementes também têm teores relativamente altos de magnésio, apesar de culturas produtoras de grãos, tal como o milho, possuírem baixos níveis desse nutriente nas sementes.

O magnésio também ajuda no metabolismo do fosfato, na respiração da planta e na ativação de vários sistemas enzimáticos⁽¹⁾.

SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA NAS PLANTAS

Os sintomas de deficiência de magnésio geralmente aparecem primeiro nas folhas “baixeiras” (folhas mais velhas), porque o magnésio é translocado dentro da

planta. A deficiência aparece como uma cor amarelada, bronzeadada ou avermelhada, enquanto as nervuras das folhas permanecem verdes. As folhas de milho ficam com faixas amarelas e com as nervuras verdes. Culturas como batata, tomate, soja e repolho podem apresentar uma cor amarelo-alaranjada e nervuras verdes.

O desequilíbrio entre o cálcio e o magnésio no solo pode acentuar a deficiência de magnésio. Quando a relação Ca/Mg torna-se muito alta, as plantas podem absorver menos magnésio. Isto pode ocorrer quando o agricultor usa somente calcário calcítico por muitos anos, em solos relativamente pobres em magnésio. A deficiência de magnésio também pode ser acentuada por altas doses de potássio ou NH_4^+ , quando o solo está no limite de deficiência⁽²⁾.

O MAGNÉSIO NO SOLO

O magnésio do solo, além daquele adicionado pelos fertilizantes ou corretivos, vem da intemperização das rochas que contêm minerais como biotita, hornblenda, dolomita e clorita.

Sendo um cátion, o Mg^{++} está sujeito à troca de cátions. Ele é encontrado na solução do solo e é adsorvido às superfícies das argilas e da matéria orgânica.

Os solos geralmente contêm menos magnésio do que cálcio, porque o magnésio não é adsorvido tão fortemente pelas argilas e matéria orgânica e, conseqüentemente, é mais sujeito à lixiviação. Além disso, a maioria do material de origem contém menos magnésio do que cálcio. Embora a maioria dos solos contenha magnésio suficiente para suportar o crescimento das plantas, podem ocorrer deficiências, mais freqüentemente em solos arenosos, ácidos, formados sob condições de elevado índice pluviométrico. As deficiências também podem ocorrer em solos calcários onde a água de irrigação contém altos níveis de bicarbonato, ou ainda em solos alcalinos (sódicos).

A relação do magnésio para o potássio pode ser um fator importante sob certas condições. Por exemplo, adubando-se com potássio pode-se diminuir a absorção de magnésio por gramíneas sendo pastoreadas por gado, o que resulta em baixo teor de magnésio no soro sanguíneo e uma condição conhecida como tetania das gramíneas. Baixas temperaturas do solo e adequada umidade, na presença de somente quantidades moderadas de potássio, resulta em maior absorção de potássio, em comparação com magnésio, e o desenvolvimento de forragem de gramínea indutora da tetania.

⁽¹⁾ Algumas culturas são mais exigentes em magnésio do que outras, por exemplo: cacaueteiro, seringueira, algodoeiro.

⁽²⁾ O “azul da bananeira” é um desequilíbrio nutricional provocado pela deficiência de magnésio induzida por adubação potássica e calagem. Deficiências de magnésio, induzidas por K e Ca, têm sido observadas também nas culturas de café e algodão.

FONTES DE MAGNÉSIO

A fonte mais comum de magnésio é o calcário dolomítico — um material excelente que contém cálcio e magnésio e neutraliza a acidez do solo. Outras fontes incluem o calcário magnesiano, o sulfato de magnésio, o óxido de magnésio, as escórias básicas, o sulfato de potássio e magnésio e os termofosfatos⁽¹⁾.

A Tabela 6-4 mostra as fontes comuns de magnésio e a porcentagem deste nutriente que elas contêm. As formas de sulfato de magnésio são mais solúveis do que o calcário dolomítico e podem ser a fonte preferida de magnésio naqueles solos que precisam de resposta rápida a esse nutriente.

Tabela 6-4. Fontes comuns de magnésio.

Material	Mg (%)
Calcário magnesiano	3,0-7,2
Calcário dolomítico	7,2-12,0
Magnesita (óxido de Mg)	55
Sulfato de magnésio heptahidratado	9,6
Sulfato de potássio e magnésio	11,2
Cloreto de magnésio	7,5
Termofosfato	7,0

ENXOFRE

FUNÇÕES DO ENXOFRE NAS PLANTAS

Diferentemente do cálcio e do magnésio, que são absorvidos pelas plantas como cátions, o enxofre é absorvido principalmente como ânion SO_4^{2-} . Ele pode, também, entrar nas folhas das plantas como gás dióxido de enxofre (SO_2) do ar.

O enxofre é parte de cada célula viva e é constituinte de dois dos 21 aminoácidos que formam as proteínas. Outras funções de enxofre nas plantas são:

- Ajuda a desenvolver enzimas e vitaminas.
- Promove a nodulação para a fixação de nitrogênio pelas leguminosas.
- Ajuda na produção de sementes.
- É necessário na formação da clorofila, apesar de não ser um constituinte dela.
- Está presente em vários compostos orgânicos que dão os odores característicos ao alho, à mostarda e à cebola.

SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA NAS PLANTAS

As plantas deficientes em enxofre apresentam uma cor verde pálida nas folhas novas, embora a planta inteira pode ser verde pálida e “atarracada” nos casos severos de deficiência. As folhas tendem a se enrugarem à medida que a deficiência se acentua.

O enxofre, como o nitrogênio, é um constituinte das proteínas e, assim, os sintomas de deficiência são semelhantes aqueles de nitrogênio. Os sintomas de deficiência de nitrogênio são mais severos nas folhas velhas porque o nitrogênio é um nutriente móvel na planta e é translocado para os pontos de novo crescimento. O enxofre, por outro lado, é imóvel na planta e, assim, os pontos de crescimento recentes sofrem primeiro quando os níveis de enxofre não são adequados para atingir a demanda da cultura. Essa diferença é importante para distinguir entre os dois, em particular nos estádios iniciais de uma deficiência.

As plantas deficientes em enxofre podem apresentar o caule delgado e fraco. As culturas como repolho e canola (colza) podem desenvolver uma cor avermelhada que aparece primeiro na parte de baixo das folhas e caules. Na alfafa, as folhas se tornam alongadas e mais delgadas e a ramificação é reduzida.

ENXOFRE E NITROGÊNIO

A necessidade de enxofre está intimamente relacionada às quantidades de nitrogênio disponíveis para as culturas. Esta estreita relação não se constitui em surpresa, uma vez que ambos são constituintes das proteínas e são associados com a formação de clorofila. Os dados da Tabela 6-5 mostram como as melhores produções de milho foram obtidas onde ambos, nitrogênio e enxofre, foram aplicados.

Tabela 6-5. A resposta do milho é melhor quando ambos, nitrogênio e enxofre, são aplicados na adubação.

Dose de S, kg/ha	Dose de N, kg/ha			Média
	0	84	168	
	--- Produção, t/ha ---			
0	4,0	8,1	9,1	7,1
11	5,0	9,0	9,6	7,9
22	5,8	9,2	9,8	8,2

Minnesota, EUA

O nitrogênio e o enxofre estão ainda relacionados pela função do enxofre na ativação da enzima redutase

⁽¹⁾ No Brasil, são bastante comercializados os calcários dolomíticos calcinados, que apresentam 26 a 32% de Ca e 9 a 15% de Mg, constituindo-se em excelentes fontes desses nutrientes.

do nitrato, a qual é necessária para a conversão de $N-NO_3$ em aminoácidos nas plantas. A baixa atividade dessa enzima diminui os níveis de proteína solúvel, enquanto aumenta as concentrações de $N-NO_3$ nos tecidos das plantas.

Os altos níveis de $N-NO_3$, que são acumulados quando o enxofre é deficiente, inibem drasticamente a formação de sementes em culturas sensíveis, como a colza. O nitrogênio na forma de nitrato nas plantas pode, também, ser tóxico para os animais que consomem forragens deficientes em enxofre. Níveis adequados de enxofre melhoram a utilização de magnésio por ruminantes pela redução dos níveis de nitrogênio não protéico ($N-NO_3$).

Cientistas têm sugerido com freqüência que a relação N:S (N total para S total) nas plantas é um bom instrumento de diagnose para determinar a deficiência de enxofre. Relações de 10:1, 15:1, 7:1, 11:1 e outras têm sido consideradas. Quer essas relações sejam ou não válidas, existe uma relação forte entre o nitrogênio e o enxofre que não pode ser ignorada, quando da avaliação da eficiência no uso de fertilizantes nitrogenados. A Tabela 6-6 ilustra esse ponto. A grama bermuda respondeu à adubação com enxofre. O enxofre também aumentou a eficiência no uso do nitrogênio, melhorando o potencial de lucro e reduzindo as chances de lixiviação de nitratos para o lençol freático.

O ENXOFRE NO SOLO

O enxofre inorgânico — a forma disponível para as plantas — ocorre na forma de ânion sulfato (SO_4^{2-}). Em decorrência de sua carga negativa, o SO_4^{2-} não é atraído para as superfícies da argila do solo e da matéria orgânica, exceto sob certas condições. Ele permanece na solução do solo e se movimenta com a água do solo e, assim, é prontamente lixiviado. Certos solos acumulam SO_4^{2-} no subsolo, que pode ficar disponível para culturas com raízes profundas. Em regiões áridas, os sulfatos de cálcio, de magnésio, de potássio e de sódio, são as formas predominantes de enxofre inorgânico.

Tabela 6-6. O enxofre aumentou a produção de grama bermuda e melhorou a eficiência e a recuperação de nitrogênio.

Dose de N kg/ha	Enxofre aplicado	Produção t/ha	Nitrogênio	
			Absorção kg/ha	Recuperação % ¹
0	Não	5,4	91	-
	Sim	5,8	99	-
225	Não	10,3	208	93
	Sim	11,6	250	112
450	Não	11,4	264	59
	Sim	13,7	343	76

¹(Absorção de N ÷ N aplicado) x 100

Arkansas, EUA

A maior parte do enxofre do solo nas regiões úmidas está associada com a matéria orgânica. Através de transformações biológicas, semelhantes àsquelas do nitrogênio, os sulfatos e os compostos de sulfato são produzidos e são disponíveis para as plantas.

O ciclo do enxofre, na Figura 6-1, mostra as relações entre as fontes de enxofre na atmosfera, nos fertilizantes e no solo. O manejo adequado assegura o uso eficiente do enxofre, com um mínimo de perdas por erosão e lixiviação.

Como está indicado na Figura 6-1, não existem ganhos ou perdas líquidas de enxofre na natureza.

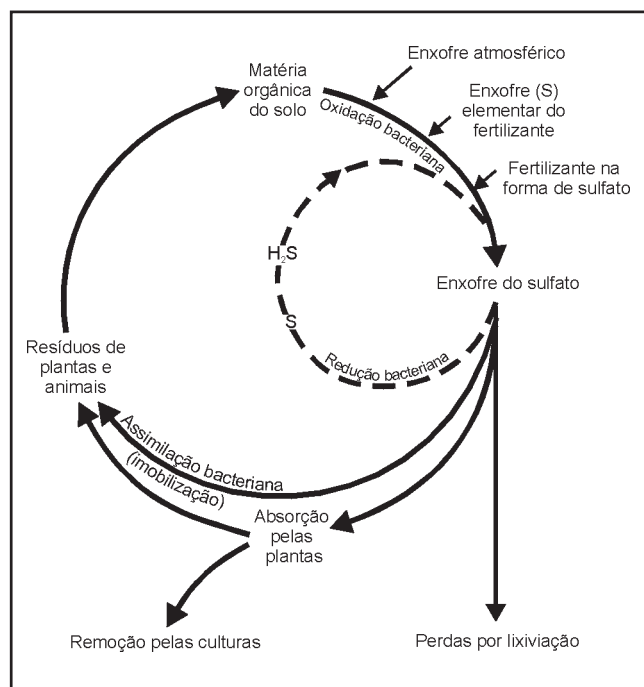


Figura 6-1. O ciclo do enxofre.

A quantidade de solos deficientes em enxofre está aumentando. Existem vários fatores que contribuem para isso, incluindo:

- Aumento na produção das culturas que removem grandes quantidades de enxofre.
- Aumento no uso de fertilizantes de alta concentração que contêm pouco ou nenhum enxofre acidental.
- Menor contaminação atmosférica por enxofre por causa da diminuição do uso de combustíveis com altos teores de enxofre... e aumento de técnicas de remoção de enxofre dos gases emitidos.
- Menor uso de pesticidas contendo enxofre.

- Imobilização de enxofre na matéria orgânica que é acumulada em decorrência das práticas conservacionistas (plantio direto, cultivo mínimo, etc.).
- Maior preocupação quanto às necessidades de enxofre para produções lucrativas das culturas e qualidade dos produtos.

A análise foliar e a análise do solo, incluindo análise de subsolo, são recomendadas para aqueles solos com suspeita de serem marginais ou deficientes em enxofre.

Outros fatores contribuem para o aparecimento de deficiências de enxofre e também devem ser considerados quando se pretende fazer recomendações para o uso de enxofre:

- **Cultura a ser explorada** – culturas forrageiras de alta produtividade tais como híbridos de capim bermuda e alfafa removem mais enxofre e, em geral, respondem mais freqüentemente a esse nutriente do que a maioria das culturas produtoras de grãos. Ver Tabela 6-1.
- **Textura do solo** – a lixiviação de S-sulfato nos solos arenosos é mais provável do que nos solos barrentos e argilosos. A resposta das culturas ao enxofre é mais comum nos solos arenosos.
- **Matéria orgânica** – os solos com menos de 2% de matéria orgânica são os que comumente apresentam deficiência de enxofre; entretanto, as deficiências ocorrem também em solos contendo teores mais altos de matéria orgânica. Cada 1% de matéria orgânica libera cerca de 6 kg de enxofre por hectare por ano.
- **Qualidade da água de irrigação** – os lagos e os rios usualmente contêm altos níveis de enxofre em comparação com a água de poços profundos. Analise as fontes de água com a finalidade de determinar suas concentrações de enxofre.

FONTES DE ENXOFRE

A matéria orgânica do solo já foi mencionada como a principal fonte de enxofre no solo. Mais de 95% do enxofre encontrado no solo estão ligados à matéria orgânica. Outras fontes naturais incluem os esterco animais, a água de irrigação e a atmosfera.

Os esterco de animais contêm níveis de enxofre variando de menos de 0,02 a até cerca de 0,3%. Obviamente, o conteúdo varia consideravelmente, dependendo das espécies, do método de armazenagem e aplicação, etc.

O dióxido de enxofre e outros gases da atmosfera, dissolvidos na água da chuva e da neve, podem contribuir com até 22 kg de enxofre por hectare por ano...

ainda mais em algumas áreas industrializadas. A água de irrigação pode conter níveis bem altos de enxofre. Quando o teor de S-SO₄ na água de irrigação excede 5 partes por milhão (ppm), a deficiência de enxofre é pouco provável. Mesmo assim, aplicações de fertilizantes de “arranque”, contendo enxofre, podem ser benéficos por causa da mobilidade do sulfato durante chuvas intensas.

A maioria das fontes de enxofre é formada por sulfatos (ver Tabela 6-7) e são moderadamente ou muito solúveis em água. As formas solúveis também incluem os bissulfetos, os tiosulfatos e os polissulfatos. A forma mais importante de enxofre insolúvel em água é o enxofre elementar, que precisa ser oxidado a S-sulfato antes das plantas poderem utilizá-lo. A oxidação bacteriana do enxofre no solo é favorecida por:

- Temperaturas do solo mais elevadas
- Teor adequado de umidade
- Aeração do solo
- Partículas menores.

A Tabela 6-7 lista as fontes comuns de fertilizantes com enxofre, juntamente com suas fórmulas químicas e porcentagem de enxofre.

Tabela 6-7. Fontes comuns de enxofre.

Material fertilizante	Fórmula química	Teor de S (%)
Sulfato de amônio	(NH ₄) ₂ SO ₄	22-24
Tiosulfato de amônio	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	26
Polissulfeto de amônio	(NH ₄) ₂ S _x	40-50
Sulfato de potássio	K ₂ SO ₄	15-17
Sulfato de potássio e magnésio	K ₂ SO ₄ ·2MgSO ₄	22-24
Gesso	CaSO ₄ ·2H ₂ O	12-18
Sulfato de magnésio	MgSO ₄ ·7H ₂ O	12-14
Superfosfato simples	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ + 2CaSO ₄ ·2H ₂ O	10-12
Enxofre elementar	S	> 85

Os sulfatos solúveis em água são imediatamente disponíveis para as plantas e devem ser utilizados quando o enxofre é necessário com rapidez. Estas fontes são usadas normalmente em fertilizantes sólidos, apesar de soluções de sulfato de amônio também serem comuns.

O tiosulfato de amônio (12-0-0-26) é um líquido claro adequado para uso em fertilizantes fluidos ou água de irrigação. Ele não deve ser colocado junto com a semente; se aplicado em faixas, estas devem estar a pelo menos 2,5 cm da semente. O polissulfeto de amônio é uma fonte fluida vermelha de enxofre, com um

forte cheiro de amônia, comumente aplicado na água de irrigação. O enxofre neste último produto precisa ser oxidado para a forma de sulfato para se tornar disponível às plantas.

Apesar do gesso (sulfato de cálcio) ser menos solúvel em água do que os outros sulfatos, ele é uma fonte eficiente e barata de enxofre.

Dados da Tabela 6-8 indicam que 20 kg de S/ha levaram a aumentos significativos na produção em várias culturas em Bangladesh.

A adubação com enxofre elementar resulta em resposta mais lenta da cultura do que com fontes na forma de sulfato, por causa da sua insolubilidade em água. Para ser eficiente, essa fonte deve ser incorporada ao solo com bastante antecedência às necessidades das culturas. Usado de maneira adequada, entretanto, o enxofre elementar é uma fonte de enxofre agrônômica e economicamente adequada.

Uma objeção ao uso do enxofre puramente moído é o desconforto para o usuário. Ele é muito pulverulento e pode apresentar riscos de incêndio sob condições de armazenamento. O problema é usualmente evitado pela granulação do enxofre com argila bentonita. ■

Tabela 6-8. Efeito da aplicação de enxofre na produção de várias culturas em Bangladesh.

Cultura	Produção (t/ha)		Aumento na produção (%)
	Sem S	20 kg de S/ha ¹	
Trigo	3,50	4,69	34,0
Milho (Local 1)	4,95	7,21	45,7
Milho (Local 2)	5,62	7,48	33,1
Batata	25,78	29,02	12,6
Batata doce	49,90	65,20	30,7
Grão-de-bico	0,95	1,71	80,0
Algodão	1,81	2,08	14,9
Juta	1,98	1,99	0,5
Couve-flor	13,80	33,05	139,5
Repolho	45,10	76,03 ²	68,6
Cebola	5,50	7,30	32,7
Fumo	2,12	2,33	9,9
Cana-de-açúcar	100,15	109,98 ²	9,8

¹ A fonte de enxofre foi o gesso.

² A dose aplicada no repolho e na cana-de-açúcar foi de 40 kg/ha.

CAPÍTULO 6 OS MACRONUTRIENTES SECUNDÁRIOS

PERGUNTAS DE REVISÃO

1. (C ou E) Os nutrientes primários são mais importantes para o crescimento das plantas do que os nutrientes secundários.
2. A maioria das plantas contém (mais, menos, cerca da mesma quantidade de) magnésio que enxofre; (mais, menos, cerca da mesma quantidade de) enxofre que fósforo.
3. O cálcio estimula _____ e é essencial para o desenvolvimento normal das folhas.
4. (C ou E) Os efeitos indiretos do cálcio são geralmente tão importantes na nutrição das plantas quanto o seu papel como nutriente.
5. (C ou E) As deficiências de cálcio são raramente observadas no campo.
6. A maioria dos solos contém (mais, menos) Ca^{2+} do que outros cátions.
7. Três minerais do solo contendo cálcio são _____, _____ e _____.
8. A fonte mais comum de cálcio é _____.
9. _____ é um constituinte da clorofila.
10. Nas plantas, a maior parte do magnésio ocorre na _____.
11. O magnésio está ativamente envolvido no processo da _____.
12. Os sintomas de deficiência de magnésio geralmente aparecem primeiro nas folhas (jovens, velhas).
13. (C ou E) O magnésio é translocado dentro da planta.
14. Três minerais contendo magnésio são _____, _____ e _____.
15. O teor de magnésio no solo é geralmente (mais alto, mais baixo) que o teor de cálcio.
16. O magnésio geralmente é mais deficiente em solos de textura _____ sob condições de alta _____.
17. O magnésio é um (cátion, ânion).
18. A fonte mais comum de magnésio é _____.
19. O enxofre geralmente entra na planta através das raízes como _____, mas pode ser absorvido pelas folhas na forma de gás _____.
20. (C ou E) O enxofre é essencial na formação da proteína.
21. O sulfato é um (cátion, ânion).
22. As plantas deficientes em enxofre apresentam uma cor _____.
23. (C ou E) O enxofre é móvel na planta.
24. Ambos, enxofre e nitrogênio, são constituintes da _____ e são associados com a formação da _____.
25. (C ou E) O enxofre aumenta a eficiência no uso do nitrogênio nas plantas.
26. (C ou E) O enxofre inorgânico do solo ocorre na forma de sulfato.
27. A maior parte do enxofre encontrado nos solos está contida na _____.

28. (C ou E) As deficiências de enxofre estão se tornando mais comuns.
29. O preparo conservacionista (aumenta, diminui) a disponibilidade de enxofre no solo.
30. (C ou E) A alfafa remove mais enxofre do solo do que muitas culturas graníferas.
31. Cada 1% de matéria orgânica libera cerca de _____kg de enxofre por hectare por ano.
32. As fontes naturais de enxofre incluem a _____, os _____, a _____ e a _____.
33. Os sulfatos são _____ em água enquanto o enxofre elementar é _____ em água.
34. (C ou E) As plantas podem utilizar o enxofre elementar.
35. Os fatores do solo que favorecem a rápida oxidação do enxofre elementar são temperaturas _____, _____ adequada e _____.
36. As formas de fertilizantes contendo enxofre elementar contêm mais que _____% de S.
37. (C ou E) A fórmula química do sulfato de potássio é KSO_4 .
38. O sulfato de potássio e magnésio contém _____% de S.
39. O tiosulfato de amônio é um fertilizante líquido contendo _____% de N e _____% de S.
40. (C ou E) As culturas respondem menos rapidamente ao enxofre elementar do que aos fertilizantes nas formas de sulfato.

OS MICRONUTRIENTES

	Página
• Os micronutrientes são essenciais para o crescimento das plantas	89
• Os micronutrientes não são “milagrosos”	89
• Relações solo-planta	90
• Boro	90
• Cloro	94
• Cobalto	95
• Cobre	95
• Ferro	96
• Manganês	96
• Molibdênio	97
• Zinco	98
• Perguntas de revisão	101

OS MICRONUTRIENTES SÃO ESSENCIAIS PARA O CRESCIMENTO DAS PLANTAS

Sete dos 16 nutrientes essenciais para as plantas são chamados de micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), cloro (Cl), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn).

Eles são tão importantes para a nutrição das plantas quanto os macronutrientes primários e secundários, embora as plantas, em geral, não os necessitem em grandes quantidades. A falta de qualquer um deles no solo pode limitar o crescimento das plantas, mesmo quando todos os outros nutrientes essenciais estão presentes em quantidades adequadas⁽¹⁾.

A necessidade de micronutrientes é conhecida há muito anos, mas o seu uso em fertilizantes é relativamente recente. Porque os micronutrientes tornaram-se tão importantes nos dias de hoje? Três motivos principais podem ser comentados:

- **Aumentos na produção das culturas** – As maiores produtividades por hectare removem não apenas maiores quantidades de macronutrientes primários e secundários, mas também maiores quantidades de micronutrientes. Os micronutrientes não

são aplicados com tanta frequência como os macronutrientes primários – nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) – ou nutrientes secundários. Assim, à medida que mais e mais micronutrientes são removidos do solo, muitos desses solos não podem liberá-los o suficiente para atender as altas demandas atuais das culturas.

- **Práticas anteriores de adubação** – Quando as produções das culturas não eram tão elevadas e a adubação com NPK não tão comum como hoje, um dos três macronutrientes primários limitava primeiro o desenvolvimento das plantas.
- **Tecnologia de fertilizantes** – Os processos atuais de produção de fertilizantes de alta concentração removem as impurezas de maneira mais eficiente que os métodos antigos. Conseqüentemente, os micronutrientes não são normalmente fornecidos como ingredientes “acidentais” dos fertilizantes.

OS MICRONUTRIENTES NÃO SÃO “MILAGROSOS”

Os micronutrientes não são a “cura para todos os males”. Existem 13 nutrientes minerais essenciais e sete

⁽¹⁾ Os problemas de deficiência de micronutrientes têm se acentuado consideravelmente em várias regiões do país, notadamente nas áreas de expansão da fronteira agrícola e naquelas sob cultivo intensivo há muitos anos. São notáveis as respostas às aplicações de boro e zinco da cafeicultura de São Paulo e Minas Gerais, de zinco em culturas anuais – milho e arroz – na região dos “cerrados”, de cobre nos solos de tabuleiro no nordeste com cultura de cana-de-açúcar, e de boro na cultura de trigo no Brasil Central, tanto em várzeas quanto em terras altas.

deles são considerados micronutrientes. Cada um pode limitar o crescimento das plantas e as produções quando deficiente no solo. Pode ocorrer até a morte das plantas quando a deficiência é severa. Entretanto, dar importância especial aos micronutrientes é incorreto e inadequado.

O uso de micronutrientes na adubação deve ser tratado como o de qualquer outro insumo para a produção. Se houver suspeita de deficiência de um micronutriente, isto pode ser comprovado através da análise do solo, análise foliar, e/ou ensaios de demonstração de resultados no local. Deve-se desenvolver o hábito de observar a cultura em crescimento – de perto – para se detectarem áreas com problemas em potencial. A diagnose de campo deverá ser uma das “ferramentas” mais eficientes em um sistema de manejo.

RELAÇÕES SOLO-PLANTA

Os solos variam quanto ao teor de micronutrientes que, geralmente, apresentam-se em quantidades muito menores que os macronutrientes primários e secundários.

A Tabela 7-1 mostra os teores totais dos micronutrientes nos solos, medidos em partes por milhão (ppm). Lembre-se que teores totais de micronutrientes não indicam as quantidades disponíveis para o crescimento das plantas durante um único ciclo. Mas eles indicam a abundância relativa e o potencial de suprimento de um micronutriente em particular.

As culturas também variam na sua composição de micronutrientes, como mostrado na Tabela 7-2.

A remoção total dos micronutrientes por uma cultura depende da concentração do nutriente na cultura e da produção colhida. A Tabela 7-3 mostra a remoção por várias culturas.

A capacidade de suprimento de micronutrientes pelo solo pode ser estimada pela análise de solos utilizando diferentes extratores. A Tabela 7-4 mostra alguns dos extratores usados para determinação dos micronutrientes disponíveis nos solos. Esses extratores são valiosos somente quando correlacionados com as respostas das culturas a adubações específicas com micronutrientes.

As **quantidades relativas** dos micronutrientes no solo, especialmente os metais, determinam sua disponibilidade, e podem ser mais importantes do que as **quantidades absolutas** de cada um. Estas relações podem fazer com que os resultados das análises de solos para um micronutriente conduzam a interpretações inadequadas, a menos que os teores dos outros micronutrientes (e também dos macronutrientes primários e secundários) sejam considerados.

O pH do solo afeta consideravelmente a disponibilidade dos micronutrientes. Em geral, a disponibilidade diminui à medida que o pH aumenta, com exceção do molibdênio e do cloro. A Tabela 7-5 mostra a faixa de pH do solo onde há a maior disponibilidade de cada micronutriente.

Sob condições de pH muito ácido, alguns micronutrientes podem tornar-se suficientemente solúveis para serem tóxicos para as plantas. O manganês, por exemplo, pode inibir o crescimento radicular em alguns solos ácidos. A calagem adequada destes solos, para elevar o pH próximo a 6,5, reduz o perigo de toxidez.

À medida que o valor do pH se eleva, através da calagem ou naturalmente, aumentam as chances para a ocorrência de deficiências de micronutrientes. O molibdênio e o cloro são exceção, pois à medida que o pH aumenta, também aumenta a disponibilidade de molibdênio, enquanto a de cloro não é afetada. Esta é uma razão que explica porque a calagem em solos ácidos afeta a produção de soja tanto ou mais que o tratamento das sementes com molibdênio.

Nas seções seguintes, cada micronutriente é discutido individualmente. As principais funções destes para os vegetais são apresentadas de forma resumida. O Conceito de Produção 7-1 ilustra as funções dos micronutrientes no metabolismo vegetal.

BORO (B)

As deficiências de boro estão espalhadas em muitas partes do mundo. A alfafa responde freqüentemente ao boro, mas as respostas também ocorrem em grande número de fruteiras, hortaliças e outras culturas no campo. O dendê é particularmente sensível à deficiência de boro, e culturas como a colza e leguminosas graníferas têm uma alta exigência de boro.

O boro é essencial para a germinação dos grãos de pólen e para o crescimento do tubo polínico. Também é essencial para a formação das sementes e das paredes celulares. O boro forma complexos açúcar/borato relacionados com a translocação de açúcares e é importante na formação das proteínas.

A deficiência de boro, em geral, retarda o crescimento das plantas, afetando primeiro os pontos de crescimento e as folhas novas. Isto indica que o boro não é translocado rapidamente na planta. Eis os sintomas típicos desta deficiência em algumas culturas:

Aipo – encurvamento do talo

Amendoim – vagens chochas

Maçã – polpa com aspecto de cortiça

Alfafa – formação de “rosetas”, pontas amarelas, morte da gema terminal

Beterraba – enegrecimento interior

Tabela 7-1. Teores de micronutrientes (totais) em solos.

Nutriente	Amplitude em solos - ppm ou mg/dm ³		
	Mundo	China	Índia
Boro	10-630	Traços-500	6-630
Cobre	1-960	3-300	2-960
Ferro	3.000-100.000	3.000 ¹	20.000-100.000
Manganês	30-5.000	42-5.000	37-4.600
Molibdênio	0,01-18	0,16-6,0	0,01-18
Zinco	2 -1.600	3-790	2-1.600

¹ Teor médio de ferro total nos solos.
Dados sobre cloro não disponíveis.

Tabela 7-2. Concentração de micronutrientes em tecido vegetal de diferentes culturas.

Cultura	Órgão/Estádio de crescimento	Teor de micronutrientes - ppm ou mg/kg		
		Deficiente	Suficiente	Tóxico
----- BORO -----				
Milho	Parte aérea (25 dias)	< 5	5-25	-
Beterraba	Lâmina foliar	< 16	16-18	-
----- COBRE -----				
Milho	Folha da espiga	< 5	5-30	> 30
Soja	Folhas maduras recentes	< 10	10-30	> 30
Trigo	Colmo	< 8	8-10	-
----- FERRO -----				
Milho	Folhas maduras recentes	24-56	56-78	-
Arroz	Folhas	< 63	> 63	-
Soja	Brotos (34 dias)	< 38	44-60	-
----- MANGANÊS -----				
Milho	Folha da espiga	-	19-84	-
Arroz	Parte aérea	< 20	-	> 2.500
Trigo	Parte aérea	-	181-621	-
Soja	Parte aérea	< 15	15 -50	-
----- MOLIBDÊNIO -----				
Cevada	Lâminas de 8 semanas	< 0,03	-	-
----- ZINCO -----				
Trigo	Crescimento 8-30 cm	< 15	15-150	> 150
Milho	Vegetativo	< 15	15-150	> 150
Soja	Folhas	< 20	20-50	-
Arroz (inundado)	Vegetativo	< 20	20-250	-
----- CLORO -----				
Plantas	-	< 100	-	-

Tabela 7-3. Remoção de micronutrientes na parte colhida de culturas, aos níveis indicados de produção.

Cultura	Produção (t)	Remoção (g)					
		B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Arroz	5	60	20	810	600	2	215
Milho	4	36	20	120	36	-	60
Trigo	3	36	43	380	120	-	180
Algodão	2,5 ¹	120	110	140	190	2	480
Amendoim	2	-	60	480	400	-	-
Batata	20	120	110	715	170	2	240
Colza	3	50	17	150	90	1	50
Alfafa	12	600	120	1.200	600	24	830
Tomate	48	28	60	535	95	2	60
Citros	48	120	120	600	140	2	60

¹ Semente de algodão.

Algodão – pecíolos das folhas unidos, com morte das gemas terminais, causando efeito de formação de “rosetas” na parte superior das plantas (dificilmente perceptível no campo). Folhas verdes, grossas e com rupturas quadradas, permanecendo verdes até o inverno e difíceis para desfolhar.

Tabela 7-4. Exemplos de extratores usados na avaliação da disponibilidade de micronutrientes em solos.

Boro	Água quente Manitol + CaCl ₂
Cobre	EDTA EDTA + Acetato de amônio Bicarbonato de amônio + DTPA HCl HNO ₃ DTPA + CaCl ₂
Ferro	EDTA EDTA + Acetato de amônio HCl HNO ₃ Bicarbonato de amônio + DTPA DTPA + CaCl ₂
Manganês	Hidroquinona + Acetato de amônio CaCl ₂ HCl + H ₂ SO ₄ HCl HNO ₃ EDTA + Acetato de amônio
Molibdênio	Acetato de amônio Oxalato de amônio + Ácido oxálico
Zinco	EDTA + Carbonato de amônio EDTA + Acetato de amônio DTPA + CaCl ₂ HNO ₃ HCl Ditizona + Acetato de amônio

Tabela 7-5. Faixa de pH que favorece a disponibilidade de cada micronutriente.

Micronutriente	Símbolo	Faixa de pH para disponibilidade máxima
Boro	B	5,0 a 7,0
Cloro	Cl	Não afetado
Cobre	Cu	5,0 a 7,0
Ferro	Fe	4,0 a 6,0
Manganês	Mn	5,0 a 6,5
Molibdênio	Mo	7,0 a 8,5
Zinco	Zn	5,0 a 7,0

As culturas variam significativamente nas suas respostas ao boro, como mostrado na Tabela 7-6. Muitas leguminosas, assim como várias frutíferas e hortaliças, são altamente responsivas ao boro. Outras mostram-se menos responsivas. Culturas graníferas em geral respondem menos.

Tabela 7-6. Respostas das culturas ao boro.

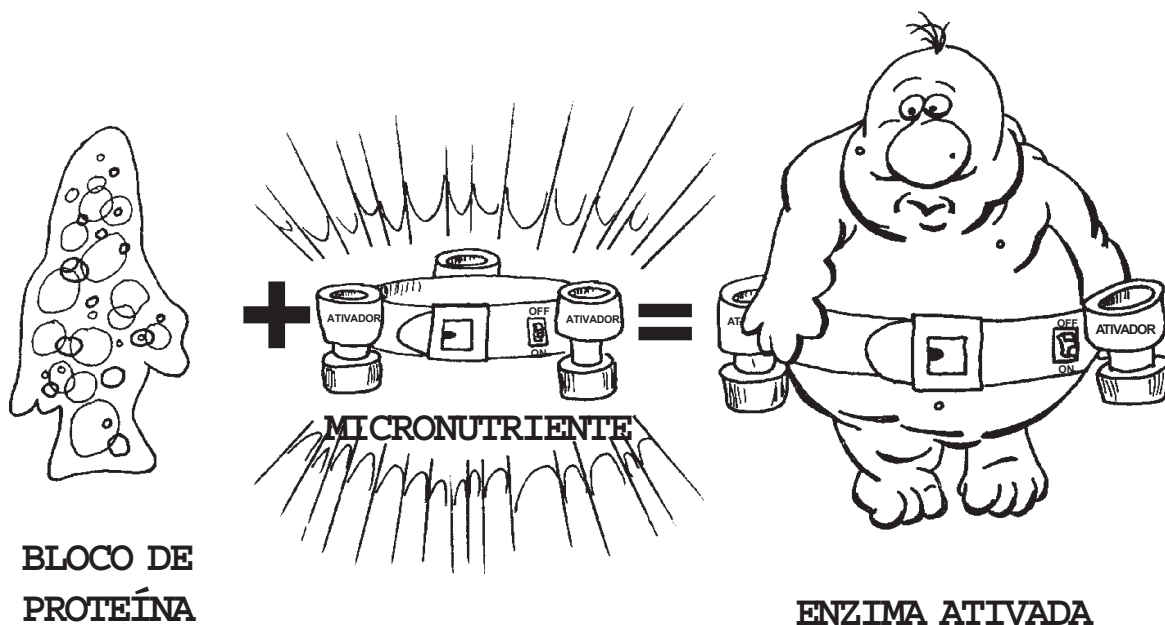
Alta resposta	Média resposta	Baixa resposta
Alfafa	Brócoli	Feijões
Couve-flor	Repolho	Pepino
Aipo	Cenoura	Milho
Beterraba açucareira	Alface	Cebola
Beterraba de mesa	Espinafre	Batata
Nabo	Milho doce	Cereais
Amendoim	Tomate	Sorgo
Algodão	Aspargo	Gramma Sudão
Maçã	Colza	
Soja	Rabanete	

Existem vários fatores que influenciam a disponibilidade de boro no solo:

- **Matéria orgânica** – A matéria orgânica é a fonte mais importante de boro no solo. Em períodos quentes e secos, a decomposição da matéria orgânica diminui na superfície do solo, onde a maioria desta é encontrada. Isto pode levar à deficiência de boro. Em períodos frios, a decomposição da matéria orgânica também diminui, e a baixa liberação de boro afeta muitas culturas de inverno (por exemplo: couve-de-bruxelas, rabanete) e outras espécies plantadas cedo.
- **Condições climáticas** – Os períodos de seca restringem as atividades das raízes na superfície do solo e podem causar deficiência temporária de boro. Os sintomas podem tender a desaparecer tão logo o solo superficial receba chuva. O crescimento das raízes pode continuar, mas o potencial de produção é geralmente reduzido.
- **pH do solo** – A disponibilidade de boro é adequada entre pH 5,0 e pH 7,0. A valores mais altos de pH, a absorção de boro é reduzida.

A calagem dos solos ácidos pode diminuir a disponibilidade de boro e aumentar a resposta a fertilizantes que contêm esse micronutriente. A Figura 7-1 mostra a interação de duas diferentes granulometrias de calcário na resposta do trevo rosado ao boro. O uso de um calcário mais fino (mais reativo) levou a uma maior necessidade de boro para atingir uma boa produção de trevo rosado, porque elevou mais rapidamente o pH, reduzindo a disponibilidade de boro no solo. Com o material calcário menos reativo, vários fatores poderiam ter influenciado a queda de produção na dose maior de boro.

MICRONUTRIENTES: SUAS FUNÇÕES NO METABOLISMO



Os micronutrientes apresentam uma série de funções na planta, conforme mencionado no texto. Merece destaque especial, entretanto, sua ação no metabolismo vegetal, especificamente na ativação de certas enzimas.

Cada enzima, ou bloco compacto de proteínas, permanece inerte e sem especificidade de reação no metabolismo até que seja acionada por um íon metálico específico. O íon metálico (no caso, o micronutriente) age como um **ativador das enzimas** e suas funções, que somente então começam a desenvolver o processo metabólico.

Algumas enzimas, e os respectivos micronutrientes envolvidos em sua ativação, são:

ENZIMA	MICRONUTRIENTE
Redutase do nitrato	Molibdênio
Desidrogenase glutâmica	Cobre
Fosfolipase	Manganês
Citocromo	Ferro
Fosforilase do amido	Boro
Sintetase do triptofano	Zinco

O IMPORTANTE É QUE A “MÁQUINA” DO METABOLISMO NÃO FUNCIONA SEM A PRESENÇA DOS MICRONUTRIENTES

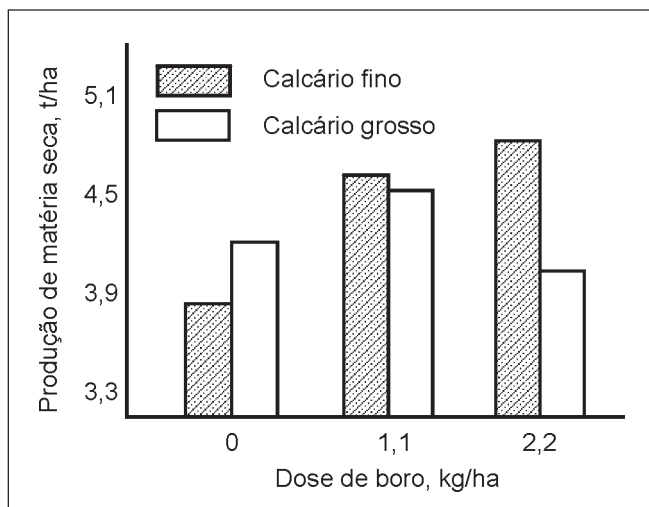


Figura 7-1. Resposta de trevo rosado à calagem e ao boro (Texas, EUA).

- **Textura do solo** – Solos de textura grossa (arenosos), os quais são compostos principalmente por quartzo, têm, em geral, poucos minerais que contêm boro. As plantas que crescem nesses solos mostram, comumente, deficiências de boro.

- **Lixiviação** – O boro é móvel no solo e é sujeito à lixiviação. A lixiviação é uma preocupação em solos arenosos e/ou áreas com altas pluviosidades.

As culturas variam amplamente em relação à necessidade e à tolerância ao boro. Além disso, o limite entre deficiência e toxidez é muito estreito em comparação com os outros nutrientes essenciais. Conseqüentemente, o uso de fertilizantes contendo boro deve ser feito com muito cuidado, especialmente em sistemas de rotação de culturas com diferentes graus de sensibilidade a este micronutriente.

É importante que os fertilizantes que contêm boro sejam aplicados de maneira uniforme por causa do limite estreito entre deficiência e toxidez. As doses de adubo com boro dependem de vários fatores, incluindo: análise de solo, análise foliar, espécies de plantas, rotação de culturas, condições climáticas, práticas culturais e matéria orgânica do solo.

A Tabela 7-7 mostra algumas fontes mais comuns de boro, incluindo os teores e a solubilidade em água.

O boro pode ser aplicado no solo a lanço ou em faixas, ou ainda aplicado nas folhas como pulverização ou na forma de pó. A aplicação via solo, no caso de culturas responsivas, pode atingir até 3 kg de B/ha, e para culturas com baixa ou média resposta, 0,5 a 1,0 kg de B/ha. A Tabela 7-8 mostra como o boro reduz a incidência de colmos frágeis e aumenta a produção do milho.

Tabela 7-7. Algumas fontes de boro.

Fonte	B (%)	Solubilidade em água
Bórax	11,0	Sim
Pentaborato de sódio	18,0	Sim
Tetraborato de sódio		
Borato fertilizante 46	14,0	Sim
Borato fertilizante 65	20,0	Sim
Ácido bórico	17,0	Sim
Colemanita	10,0	Baixa
Solubor	20,0	Sim
Superfosfato simples boratado	0,18	Sim

Tabela 7-8. O boro reduz colmos frágeis e aumenta a produção de milho.

Dose de B kg/ha	Colmos frágeis %	Produção t/ha
0	23	9,3
1	27	10,1
2	19	10,7
4	18	10,3

EUA

CLORO (Cl)

O cloro é um nutriente vital, sendo o coco e o dendê especialmente sensíveis à sua deficiência. As deficiências são espalhadas nas plantações de coco nas Filipinas, Sul de Sumatra e Indonésia.

O cloro está envolvido nas reações de energia nas plantas. Especificamente, ele está envolvido na fragmentação química da água na presença da luz do sol e ativa vários sistemas enzimáticos. Ele está também envolvido no transporte de vários cátions dentro da planta (K, Ca, Mg), regula a ação das células-guarda dos estômatos, controlando, assim, as perdas de água e o estresse hídrico que mantém o turgor.

A pesquisa tem mostrado que o cloro diminui os efeitos de doenças fúngicas nas raízes, tal como mal-do-pé em cereais. Ele também ajuda a suprimir infecções de fungos nas folhas e nas panículas de cereais. A diminuição na incidência de podridão do caule no milho tem sido relacionada com adequado cloro. Especula-se que o cloro compete com a absorção de nitrato, tendendo a promover o uso de nitrogênio amoniacal. Altas concentrações de nitrato nas plantas têm sido relacionadas à severidade de doenças.

O cloro pode ser aplicado a lanço, em pré-plantio, ou em cobertura com o nitrogênio. Pesquisas com cereais em Kansas e no Oregon (EUA) não têm mostrado diferenças significativas na produção em diferentes épocas

de aplicação de cloro, mas dados do Texas mostram que as chuvas fortes no inverno podem diminuir a disponibilidade de cloro em solos arenosos por causa de sua alta mobilidade nesses solos.

Os dados da Tabela 7-9 mostram as excelentes respostas do trigo ao cloro em solos com baixos teores desse micronutriente.

Tabela 7-9. Respostas do trigo ao cloro.

Dose de cloro kg/ha	Produção de trigo, t/ha			
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
0	2,49	3,70	4,17	5,17
34	3,02	4,10	4,44	-
67	-	4,10	4,64	5,38
101	-	4,10	4,50	-
Análise do solo para Cl:	-	Baixo	Baixo	Médio/alto

Kansas, EUA

Cerca de 60 kg de Cl/ha, nos primeiros 60 cm do solo, parece ser adequado para altas produções de cereais. Ele pode ser fornecido pelo fertilizante ou pelo solo. A fonte mais comum é o cloreto de potássio (KCl), que contém cerca de 47% de cloro. O cloreto de amônio (52% de Cl) e o cloreto de magnésio (74% de Cl) são também disponíveis. As aplicações em pré-plantio, na semeadura ou em cobertura, são todas eficientes. As altas doses devem ser aplicadas em pré-plantio ou em cobertura. O cloro é extremamente móvel no solo e deve ser manejado de modo adequado.

O cloro pode ter efeitos negativos em culturas como fumo, algumas variedades de soja, batata e certas frutíferas, especialmente videira. Os efeitos variam com as variedades da cultura ou porta-enxerto e a intenção de uso da cultura.

COBALTO (Co)

O cobalto (Co) não foi ainda provado como essencial para o crescimento das plantas superiores. As bactérias que formam nódulos nas leguminosas necessitam dele para o processo de fixação de nitrogênio atmosférico.

COBRE (Cu)

O cobre é necessário para a formação da clorofila nas plantas, catalisa vários processos no metabolismo vegetal e é necessário à promoção de diversas reações, apesar de, geralmente, não fazer parte do(s) produto(s) formado(s) por essas reações.

Os sintomas comuns de deficiência de cobre incluem morte das gemas terminais em plantas cítricas e

murcha da cebola e em vários tipos de hortaliças. Muitas espécies hortícolas mostram fome de cobre, com as folhas perdendo a turgescência e desenvolvendo uma coloração verde-azulada, antes de se tornarem cloróticas e enroladas, além de não ocorrer o florescimento. A deficiência de cobre em cereais pode impedir a formação de grãos.

Os solos orgânicos são muito propensos a apresentar deficiência de cobre. Tais solos, em geral, apresentam níveis adequados deste micronutriente, mas este fica retido tão fortemente, que somente pequenas quantidades ficam disponíveis para as plantas.

Os solos arenosos, com baixos teores de matéria orgânica, também podem tornar-se deficientes em cobre por causa das perdas por lixiviação.

Os solos argilosos, pesados, em geral apresentam menos problemas de deficiência de cobre.

Outros metais no solo (ferro, manganês, alumínio, etc.) afetam a disponibilidade de cobre para o crescimento das plantas. Este efeito independe do tipo de solo.

À semelhança de outros micronutrientes, grandes quantidades de cobre podem ser tóxicas para as plantas. O excesso de cobre diminui a atividade do ferro e causa sintomas de deficiência deste último nas plantas. Esta toxidez, entretanto, não é muito comum.

A Tabela 7-10 mostra como as culturas variam nas respostas ao cobre. Os cereais como o trigo e a cevada são os mais responsivos à aplicação de cobre. A adubação com cobre pode também ser benéfica em culturas como a cebola e a cenoura. Como a maioria dos outros micronutrientes, grandes quantidades de cobre podem ser tóxicas às plantas. Quantidades excessivas de cobre diminuem a atividade do ferro e podem fazer com que sintomas de deficiência de ferro apareçam nas plantas. Estas toxicidades não são comuns.

Tabela 7-10. Respostas das culturas ao cobre.

Muito responsivas	Pouco reponsivas
Cevada	Alfafa
Cenoura	Citros
Cebola	Alface
Trigo	Aveia
	Arroz
	Espinafre
	Beterraba
	Fumo

A Tabela 7-11 mostra as fontes mais comuns de fertilizantes contendo cobre, sua solubilidade em água e métodos de aplicação.

Tabela 7-11. Algumas fontes de cobre, teores, solubilidade em água e métodos de aplicação.

Fonte	Cu (%)	Solubilidade em água	Métodos de aplicação
Sulfato de cobre	22,5-24	Sim	Foliar, solo
Fosfato de amônio e cobre	30,0	Pouca	Foliar, solo
Quelato de cobre	Variável	Sim	Foliar, solo
Outros orgânicos	Variável	Sim	Foliar, solo
FTE com cobre	Variável	Não	Solo

FERRO (Fe)

O ferro é um catalisador que ajuda na formação da clorofila, age como um carregador de oxigênio e ajuda a formar certos sistemas respiratórios envolvendo enzimas.

A deficiência de ferro é evidenciada através do amarelecimento das folhas (clorose), criando um forte contraste com as nervuras que, em geral, permanecem verdes.

Em função do ferro não ser translocado dentro da planta, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas jovens, na parte superior das plantas. A deficiência severa pode tornar toda a planta amarelada ou esbranquiçada.

A deficiência de ferro geralmente é causada por um desequilíbrio de metais como o molibdênio, o cobre ou o manganês. Outros fatores são aceitos como aceleradores do problema:

- Excesso de fósforo no solo
- Uma combinação de pH elevado, altas doses de calcário, baixas temperaturas no solo e altos níveis de bicarbonato
- Diferenças genéticas das plantas
- Baixos níveis de matéria orgânica no solo.

As culturas variam quanto à intensidade de resposta ao ferro. Plantas frutíferas são as mais responsivas, como mostra a Tabela 7-12.

Tabela 7-12. Respostas das culturas ao ferro.

Muito responsivas	Pouco responsivas
Citros	Feijão
Videira	Linho
Ornamentais	Amendoim
Outras árvores frutíferas	Menta
	Sorgo
	Soja
	Gramma sudão
	Hortaliças

As aplicações de fertilizantes via solo ou via foliar podem, em parte, corrigir as deficiências nas culturas. A aplicação de formas solúveis (por exemplo, sulfato de ferro) ao solo não é muito eficiente porque o ferro converte-se rapidamente em formas não disponíveis.

Quando estes produtos solúveis são aplicados através de pulverização foliar, são muito mais eficientes. Injeções de sais secos de ferro diretamente nos troncos e ramos podem controlar a clorose por deficiência de ferro em árvores frutíferas. A maioria dos fertilizantes contendo ferro tem maior eficiência via adubação foliar. Este método emprega doses menores do que as aplicações via solo.

Alterando-se o pH do solo em uma faixa estreita na zona das raízes pode-se corrigir deficiências de ferro. Produtos com enxofre (S) oxidável diminuem o pH do solo e transformam formas insolúveis de ferro no solo em formas utilizáveis pelas plantas.

A Tabela 7-13 mostra vários fertilizantes contendo ferro e os teores deste micronutriente.

Tabela 7-13. Algumas fontes de ferro e seus teores.

Fonte	Fe (%)
Sulfato ferroso	19
Sulfato férrico	23
Óxido de ferro	69 a 73
Sulfato ferroso amoniacal	14
FTE com ferro*	Variável
Polifosfato de ferro e amônio	22
Quelatos de ferro	5 a 14
Outros orgânicos	5 a 10

* Não adequado para a aplicação foliar ou para o uso em solos alcalinos ou calcários.

MANGANÊS (Mn)

O manganês atua principalmente como parte do sistema enzimático nas plantas, ativa várias reações metabólicas importantes e tem ação direta na fotossíntese, ajudando na síntese de clorofila. Acelera a germinação e a maturidade, enquanto aumenta a disponibilidade de fósforo e cálcio.

Como o manganês não é translocado nas plantas, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas jovens, com amarelecimento entre as nervuras. Algumas vezes aparece uma série de manchas castanho-escuras. Em cereais, surgem áreas acinzentadas próximas da base das folhas jovens.

As deficiências de manganês ocorrem com maior frequência: (1) nos solos orgânicos e (2) nos solos com pH neutro e alcalino com baixos teores naturais de manganês.

As culturas variam quanto às respostas ao manganês, como mostra a Tabela 7-14.

Tabela 7-14. Respostas das culturas ao manganês.

Mais responsivas	Menos responsivas
Cevada	Maçã
Citros	Feijão
Ervilha	Videira
Batata	Alface
Soja	Aveia
Trigo	Pêssego
	Rabanete
	Sorgo
	Espinafre
	Morango
	Gramma Sudão
	Beterraba açucareira

Apesar das deficiências estarem freqüentemente associadas ao pH elevado, também podem ocorrer como consequência de um desequilíbrio com outros nutrientes, tais como o cálcio, o magnésio e o ferro.

A umidade do solo também afeta a disponibilidade de manganês. Os sintomas de deficiência são mais severos em solos orgânicos, durante os períodos frios, quando os solos estão saturados com água. Os sintomas podem desaparecer quando os solos secam e a temperatura se eleva.

Esta condição poderia advir da menor atividade microbiológica nos solos frios e encharcados, mas o pH destes solos é também mais elevado neste período. Há uma estreita relação entre o manganês solúvel (disponível) e o pH do solo.

As deficiências de manganês podem ser corrigidas de várias maneiras:

- Se a calagem causou a deficiência, mantenha o pH do solo abaixo de 6,5. Isto pode ser feito pela diminuição da dose de calcário ou pela utilização de materiais que produzem a acidificação do solo, inclusive enxofre elementar. Aplique estes materiais em faixas, próximos mas não em contato com as sementes. Eles abaixam o pH e convertem o manganês em formas mais disponíveis para as plantas. Para um grande número de culturas é mais econômico adicionar manganês do que abaixar o pH do solo.

- Misture sais solúveis de manganês, tais como sulfato de manganês, com a adubação de plantio e aplique em faixas. Altas doses de fósforo neste tipo de adubação ajudam a mobilizar o manganês dentro da planta. Um sintoma de deficiência pode ser corrigido

pela adubação foliar. A pulverização com 10 kg de $MnSO_4$ /hectare, diluídos em água, é um tratamento comum para a cultura da soja com deficiência deste micronutriente.

- Em alguns solos, um pH extremamente ácido pode causar toxidez de manganês às culturas. O pH do solo deve ser de 5,0 ou menos antes de ocorrerem sérios problemas de toxidez. Em alguns casos, mesmo em pH 5,8 têm sido detectados níveis tóxicos de manganês em plantas. A calagem adequada elimina este problema.

A Tabela 7-15 mostra os principais fertilizantes contendo manganês e os respectivos teores.

Tabela 7-15. Algumas fontes de manganês e seus teores.

Fonte	Mn (%)
Sulfato manganoso	26
Óxido manganoso	41
Quelato de manganês	12
Carbonato de manganês	40
Cloreto de manganês	17
FTE com manganês	Variável

MOLIBDÊNIO (Mo)

O molibdênio é necessário para a formação e atividade da enzima **redutase do nitrato**. Esta enzima reduz nitratos a amônio na planta. Este micronutriente é vital para ajudar as leguminosas a formarem nódulos que, por sua vez, são indispensáveis ao processo de fixação simbiótica de nitrogênio. O molibdênio é também essencial para converter o fósforo inorgânico em formas orgânicas na planta.

A deficiência de molibdênio causa um amarelamento geral e pouco crescimento das plantas. Também pode causar deficiência de nitrogênio em leguminosas como soja e alfafa, porque as bactérias do solo associadas a estas plantas precisam do molibdênio para fixarem o nitrogênio atmosférico. O molibdênio torna-se mais disponível à medida que o pH aumenta, o oposto do que ocorre com os outros micronutrientes. Assim, as deficiências de molibdênio são mais comuns em solos ácidos. Os solos arenosos apresentam mais problemas de deficiência de molibdênio do que os solos argilosos.

A Tabela 7-16 mostra o efeito do molibdênio na produção de soja em vários níveis de pH do solo. Como o molibdênio torna-se mais disponível com o aumento do pH, a calagem corrigirá a deficiência se o solo contiver quantidade suficiente deste micronutriente. Este fato é ilustrado na Tabela 7-16.

Tabela 7-16. Respostas da soja ao molibdênio em vários níveis de pH.

pH do solo	Produção, t/ha	
	Com Mo	Sem Mo
5,6	2,76	2,15
5,7	2,89	2,28
6,0	2,69	2,35
6,2	2,82	2,69
6,4	2,76	2,82

Doses pesadas de fertilizantes fosfatados aumentam a absorção de molibdênio pelas plantas, enquanto doses pesadas de enxofre diminuem este processo. A aplicação de altas doses de fertilizantes contendo sulfato, em solos no limite de suficiência, pode induzir à deficiência de molibdênio.

As culturas variam quanto à intensidade de resposta ao molibdênio. As culturas como brócoli, couve-flor e os trevos geralmente respondem à aplicação de molibdênio (Tabela 7-17).

Tabela 7-17. Respostas das culturas ao molibdênio.

Mais responsivas	Menos responsivas
Brócoli	Alfafa
Couve-flor	Feijão
Trevos	Alface
	Ervilha
	Soja
	Espinafre

Vários produtos fornecem molibdênio. Estes materiais podem ser (1) misturados com fertilizantes NPK, (2) aplicados em pulverização foliar, ou (3) usados como tratamento de sementes. O tratamento de sementes é, provavelmente, a forma mais comum de corrigir a deficiência de molibdênio por causa das pequenas doses do nutriente que são necessárias.

O molibdênio em excesso é tóxico, especialmente para o gado sob pastoreio. A ingestão de forragem com teores excessivos de molibdênio pode levar os animais a apresentarem forte diarreia.

O molibdênio também pode afetar o metabolismo do cobre. Por exemplo, animais alimentando-se de pastagens pobres em molibdênio podem apresentar toxidez de cobre se os níveis deste nutriente no solo forem suficientemente altos. Mas, animais comendo forragem com alto teor de molibdênio podem desenvolver deficiência de cobre, levando-os à doença chamada de "molibdenose". Isto pode ser corrigido por: (1) fornecimento de sulfato de cobre oralmente, (2) inje-

ção de remédios contendo cobre, ou (3) aplicação de sulfato de cobre ao solo.

A Tabela 7-18 mostra as fontes comuns de molibdênio.

Tabela 7-18. Algumas fontes de molibdênio.

Fonte	Mo (%)	Solubilidade em água
Molibdato de amônio	54	Sim
Molibdato de sódio	39 a 41	Sim
Ácido molíbdico	47,5	Pouca

ZINCO (Zn)

O zinco foi um dos primeiros micronutrientes reconhecidos como essencial às plantas. Ele é o micronutriente que mais comumente limita a produção das culturas. Deficiências de zinco têm sido relatadas em quase todos os países produtores de arroz. Apesar de ser necessário em pequenas quantidades, é impossível alcançar altas produções sem zinco. Algumas culturas são mais responsivas ao zinco do que outras, como mostrado na Tabela 7-19.

Tabela 7-19. Respostas das culturas ao zinco.

Mais responsivas	Medianamente responsivas	Menos responsivas
Feijão	Cevada	Aspargo
Milho	Batata	Cenoura
Cebola	Soja	Gramas
Sorgo	Gramma sudão	Aveia
Milho doce	Beterraba açucareira	Ervilha
Citros	Beterraba	Centeio
Arroz	Tomate	Repolho
Pêssego	Alfafa	Aipo
Pecan	Trevo	Alface
Linho	Algodão	Videira

O zinco auxilia na síntese de substâncias que atuam no crescimento e nos sistemas enzimáticos, é essencial para a ativação de certas reações metabólicas e é necessário para a produção da clorofila e a formação dos carboidratos.

O zinco não é translocado dentro da planta e, conseqüentemente, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas e outras partes novas das plantas.

A deficiência de zinco no milho é caracterizada pela cor amarelo-claro ou branca dos pontos de crescimento e aparece no início do ciclo. As folhas podem desenvolver faixas amarelas largas (clorose), de um lado ou nos dois lados da nervura central. Outros sintomas in-

cluem o bronzeamento das folhas no arroz, o aparecimento de “rosetas” na noqueira pecan e de folhas pequenas em frutíferas, e o encurtamento dos internódios no cafeeiro e outras culturas.

Os solos podem conter de algumas a várias centenas de quilos por hectare. Os solos argilosos, em geral, contêm mais zinco do que os solos arenosos, mas o teor de zinco total do solo não indica o quanto deste nutriente está disponível para as plantas. Vários fatores determinam a disponibilidade do zinco:

- **pH do solo** – O zinco torna-se menos disponível com o aumento do pH do solo. Alguns solos que recebem calcário para elevar o pH acima de 6,0 podem apresentar deficiência de zinco, especialmente os arenosos. As deficiências de zinco não ocorrem em todos os solos com pH neutro ou alcalino, mas a tendência é maior. A concentração de zinco no solo pode diminuir 30 vezes para cada unidade de aumento do pH entre 5,0 e 7,0.

- **Solos com altos teores de fósforo** – A deficiência de zinco pode ocorrer em solos com altos teores de fósforo. Várias espécies de plantas têm apresentado a interação Zn-P. Altos níveis de um nutriente podem reduzir a absorção do outro. A aplicação de um destes, em um solo marginal em ambos, pode induzir a deficiência do outro. O pH do solo complica ainda mais esta interação Zn-P. A aplicação de fósforo em um solo com níveis suficientes de zinco não irá produzir uma deficiência desse último. Entretanto, consultores e laboratórios alertam que quando o teor de P na análise de solo é alto e, ainda assim, aplicações anuais de fósforo são necessárias para altas produções, deve-se aplicar 1 kg de zinco para cada 20 kg de P_2O_5 adicionados.

- **Matéria orgânica do solo** – Grande quantidade de zinco pode ser fixada na fração orgânica do solo. Ele pode, também, ser temporariamente imobilizado nos corpos dos microrganismos quando se adiciona esterco de curral ao solo. Por outro lado, grande parte do zinco disponível em um solo mineral está associada com a matéria orgânica. Baixos níveis de matéria orgânica em solos minerais são freqüentemente indicativos de baixa disponibilidade de zinco.

- **Irrigação** – Quando o solo é cortado e nivelado para irrigação por inundação, em geral o zinco torna-se deficiente, por causa da remoção da matéria orgânica, compactação e exposição de solo com pH mais elevado.

- **Lixiviação** – O zinco é adsorvido pelos colóides nos solos. Isto favorece a resistência à lixiviação e a sua permanência na parte superior do solo.

- **Solos frios e encharcados** – As deficiências de zinco tendem a ocorrer no início do período de crescimento quando os solos da região temperada estão

frios e encharcados. Isto é motivado pelo lento crescimento das raízes. O sistema radicular em lento crescimento não é capaz de absorver suficiente zinco para suprir as outras partes da planta. As plantas, algumas vezes, parecem sobrepujar essa deficiência, mas o dano já foi feito, e as produções podem ainda ser significativamente reduzidas.

- **Atividade biológica do solo** – A disponibilidade de zinco é afetada pela presença de certos fungos do solo, chamados micorrizas, e que formam relações simbióticas com as raízes das plantas. A remoção do solo superficial, quando do nivelamento do solo, pode remover esses fungos benéficos e limitar a habilidade das plantas para absorver o zinco.

A melhor maneira de se corrigir a deficiência de zinco é pela aplicação de produto contendo zinco, a lanço ou com a adubação de plantio no sulco. As doses variam de 1 kg de Zn/ha a até doses elevadas de 10 kg de Zn/ha, dependendo da análise do solo. Doses muito pequenas devem ser aplicadas como “arranque” para melhorar a eficiência da aplicação. O zinco apresenta um excelente efeito residual e doses elevadas podem ser suficientes para três ou quatro anos. Verifique a disponibilidade pela análise de solo.

As fontes fertilizantes contendo zinco são listadas na Tabela 7-20.

Tabela 7-20. Algumas fontes de zinco e seus teores.

Fonte	Zn (%)
Sulfatos de zinco (hidratados)	23-36
Óxido de zinco	50-78
Carbonato de zinco	52
Complexos zinco-amônia	10
FTE com zinco	Variável
Quelatos de zinco	9-14
Outros orgânicos	5-10

Quando se espera retenção do zinco no solo sob condições de pH elevado, ou quando ocorre uma situação de emergência na cultura já estabelecida, o zinco pode ser aplicado como adubação foliar. As adubações foliares usualmente são feitas com 0,5 a 1,0 kg de Zn/ha. A Tabela 7-21 mostra os efeitos de métodos de aplicação na produção do milho.

As respostas à aplicação de zinco podem ser espetaculares, como mostrado na Tabela 7-22. Nesse estudo com soja irrigada, a dose de 4 kg de Zn/ha foi o melhor tratamento, produzindo 1,34 t/ha de resposta na produção.

Tabela 7-21. Porcentagem de experimentos de campo e respostas de produção de milho a métodos de aplicação de zinco.

Método de aplicação (locais)	% de experimentos mostrando resposta a:			
	< 0,3	0,3-0,6	0,6-0,9	> 0,9
	----- t/ha -----			
A lanço (31)	55	6	19	20
No sulco (28)	29	21	29	21
Foliar (31)	26	36	6	32

Kentucky, EUA

Tabela 7-22. Resposta da soja irrigada com zinco em pré-plantio.

Dose de Zn kg/ha	Produção t/ha	Composição foliar	
		% P	ppm Zn
0	2,02	0,26	17,9
2	3,09	0,16	24,9
4	3,36	0,18	28,9

Kansas, EUA

Nota: Ver fontes de micronutrientes de acordo com a legislação brasileira na Tabela 11A (Anexos).

A preocupação com os problemas de deficiências de micronutrientes deverá ser crescente, principalmente nas áreas onde as limitações impostas pelos macronutrientes primários e secundários são corrigidas e quando se almeja a Produtividade Máxima Econômica (PME). Neste aspecto, a Lei do Mínimo, na sua forma ampliada, deve ser sempre levada em consideração (Ver Conceito de Produção 3). ■

CAPÍTULO 7 OS MICRONUTRIENTES

PERGUNTAS DE REVISÃO

1. Os sete micronutrientes essenciais são: _____, _____, _____, _____, _____, _____ e _____.
2. O símbolo químico do boro é _____; cobre _____; zinco _____.
3. (C ou E) As altas produções das culturas influenciam o aumento das deficiências de micronutrientes.
4. Os solos geralmente contêm (mais, menos) micronutrientes do que macronutrientes.
5. (C ou E) Os micronutrientes são, geralmente, “milagrosos” na produção das culturas.
6. (C ou E) A quantidade total de micronutrientes removida nas partes colhidas da maioria das culturas é menos de 1 kg/ha.
7. (C ou E) A disponibilidade de micronutrientes no solo aumenta com o aumento do pH.
8. (C ou E) A disponibilidade de molibdênio aumenta com o aumento do pH do solo.
9. Toxidez de cobre e ferro é esperada em solo com pH (alto ou baixo).
10. (C ou E) O boro é essencial para a formação das sementes e das paredes celulares.
11. (C ou E) O boro é translocado rapidamente na planta.
12. Muitas leguminosas são (altamente, pouco) responsivas ao boro.
13. A mais importante fonte de boro no solo é a _____.
14. A deficiência de boro pode ser acelerada por períodos de _____.
15. (C ou E) O boro é facilmente lixiviado do solo.
16. A linha entre a deficiência e a toxidez de boro é (mais larga, mais estreita) do que para os outros nutrientes essenciais.
17. Três métodos de aplicação de boro são: _____, em _____ ou _____.
18. (C ou E) O cobre é essencial para o crescimento das plantas.
19. A deficiência de cobre é comum em solos _____.
20. (C ou E) Solos argilosos são mais prováveis de serem deficientes em cobre do que os solos arenosos.
21. Cobre em grandes quantidades pode ser _____ para as plantas.
22. (C ou E) A maioria dos fertilizantes contendo cobre é solúvel em água.
23. O ferro é importante na formação da _____ e é um carregador de _____.
24. (C ou E) Clorose é um sintoma comum de deficiência de ferro.
25. (C ou E) O ferro é prontamente translocado na planta.
26. O método mais eficiente para corrigir deficiências de ferro é por aplicação _____.
27. A alteração do _____ do solo em uma faixa estreita, próximo à zona das raízes, pode ser uma forma eficiente de corrigir deficiência de ferro.

28. Os quelatos de ferro apresentam (maior, menor) teor de ferro que o sulfato de ferro.
29. O manganês exerce um papel na fotossíntese ajudando na síntese da _____.
30. (C ou E) A deficiência de manganês aparece primeiro nas folhas novas.
31. As deficiências de manganês são usualmente associadas com (baixo, alto) pH do solo.
32. As deficiências de manganês ocorrem freqüentemente em solos altos em _____.
33. (C ou E) Uma maneira eficaz de corrigir a deficiência de manganês é a pulverização foliar.
34. (C ou E) O manganês é mais passível de ser tóxico para as plantas se o pH for baixo.
35. Os sulfatos de manganês contêm de ____ a ____% de manganês.
36. O molibdênio é essencial para formação de _____ em raízes de leguminosas.
37. A calagem do solo é (freqüentemente, raramente) eficiente para corrigir a deficiência de molibdênio.
38. As aplicações pesadas de fósforo irão (aumentar, diminuir) a absorção de molibdênio pelas plantas.
39. As aplicações pesadas de fertilizantes contendo sulfato podem induzir a _____ de molibdênio.
40. (C ou E) O tratamento de sementes é, provavelmente, a forma mais comum para corrigir deficiências de molibdênio.
41. Animais alimentando-se de pastagens com baixos teores de molibdênio podem desenvolver toxidez de _____ se os níveis de _____ no solo forem suficientemente altos.
42. Dois produtos usados como fertilizantes com molibdênio são _____ e _____.
43. O _____ foi um dos primeiros micronutrientes a serem reconhecidos como essenciais para o crescimento das plantas.
44. Feijão, arroz e pêssego estão entre as culturas (mais, menos) responsivas a zinco.
45. Os sintomas de deficiência de zinco aparecem primeiro nos tecidos (jovens, velhos) das plantas.
46. (C ou E) O zinco total do solo é um bom indicador da disponibilidade de zinco para as plantas.
47. A deficiência de zinco esta (sempre, nunca) associada com alta disponibilidade de fósforo no solo.
48. (C ou E) O nivelamento de solos para irrigação com freqüência induz à deficiência de zinco.
49. (C ou E) O zinco lixivia facilmente no solo.
50. Deficiências de zinco ocorrem usualmente no _____ da estação de crescimento.
51. A adubação foliar assim como adubações a _____ ou em _____ são maneiras eficientes para correção da deficiência de zinco.
52. Os sulfatos de zinco contêm de ____ a ____% de zinco.
53. Na planta, o cloro esta envolvido na fragmentação da _____ na presença da luz solar.
54. O cloro reduz os efeitos de _____ nas raízes de pequenos grãos.
55. (C ou E) O cloro é facilmente lixiviado do solo.
56. O cobalto é necessário para as bactérias _____ responsáveis pela fixação de nitrogênio atmosférico pelas leguminosas.

ANÁLISE DE SOLO, ANÁLISE FOLIAR E TÉCNICAS DE DIAGNOSE

	Página
• Análise de solo	103
• Escolha do laboratório	104
• Coleta de amostras de solo	104
• Analisando o solo	106
• Interpretação dos resultados	106
• Análise de plantas	107
• Sintomas de deficiência nas plantas	108
• Faça uma diagnose completa	110
• Importância das práticas culturais	112
• Outras fontes de informação	115
• Colocando as coisas juntas	115
• Resumo	115
• Perguntas de revisão	116

ANÁLISE DE SOLO

A análise de solo é uma das melhores práticas de manejo (MPM) que continua sendo importante tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento porque é agronomicamente adequada, lucrativa e responsável em termos de ambiente.

A análise de solo deverá ser uma das práticas de manejo mais importantes para a produção das culturas e proteção ambiental no futuro. Com certeza ela será listada entre as melhores práticas de manejo (MPM) que serão utilizadas por agrônomos de indústrias e de universidades, consultores e administradores de fazendas para benefício dos clientes agricultores. A análise de solo deve ser um instrumento de planejamento e um serviço de suporte do manejo que os fornecedores de fertilizantes utilizam para benefício de seus clientes. Os benefícios ambientais do manejo melhorado dos recursos do solo e materiais fertilizantes são notáveis quando MPM no manejo de nutrientes são adaptadas para campos ou áreas específicas do agricultor.

Estatísticas do uso de fertilizantes e de produção das culturas indicam que a fertilidade do solo de muitas propriedades pode estar declinando devido ao déficit no manejo de nutrientes. As consequências da “mineração” (maior remoção do que aplicação) dos nutrientes do solo pode não se tornar aparente por vários anos.

A Tabela 8-1 mostra as mudanças dos nutrientes em experimentos de fertilidade de longa duração, conduzidas em Huiyang, província de Guangdong, China, sob um sistema de cultivos duplos de arroz.

Os dados indicam que somente quando fertilizantes NPK são usados juntos, o fósforo (P) e o potássio (K) do solo não são exauridos. Quando os nutrientes não foram aplicados por 11 anos (solos com teor médio a alto), a média de fósforo disponível no solo diminuiu 2,2 mg/dm³ por ano e a análise do solo para potássio diminuiu aproximadamente 0,8 mg/dm³ por ano. Se o nitrogênio (N) fosse aplicado sozinho o sistema produtivo iria reduzir o fósforo (P) disponível em 3 mg/dm³ por ano e o K disponível em 1 mg/dm³ por ano. Se essa tendência continuasse, resultaria em queda substancial no potencial de produção da cultura. Seriam necessários muitos anos de uso de altas doses de fertilizantes contendo P e K para restaurar a produtividade ótima.

Permitir que a análise de solo diminua é destrutivo para a produtividade futura, para a lucratividade e para o ambiente.

Análise de solo – um instrumento

A análise de solo é um instrumento importante para a lucratividade da exploração na propriedade e para acompanhar as mudanças da fertilidade do solo no mundo. A análise de solo deve ser utilizada juntamente

Tabela 8-1. Mudanças de nutrientes no solo em experimentos de longa duração em Huiyang, Guangdong, China.

Tratamento	P disponível, mg/dm ³			K disponível, mg/dm ³		
	1980	1991	Balanço	1980	1991	Balanço
Testemunha	40,9	17,2	- 23,7	30,9	22,0	- 8,9
N	41,9	8,4	- 33,5	30,9	20,4	- 10,5
NP	53,8	75,4	+ 21,6	29,1	22,0	- 7,1
NK	45,7	7,1	- 38,6	30,5	98,4	+ 67,9
NPK	48,7	80,9	+ 32,2	31,5	47,6	+ 16,1

Fonte: Lin Bao, Academia Chinesa de Ciências Agrárias, 1993.

te com outras informações como um guia para chegar às recomendações de uso de calcário e fertilizantes para atingir altas produções e maiores lucros.

A análise de solos tem, basicamente, duas funções:

- Ela indica os níveis de nutrientes no solo e, em consequência, onde iniciar no desenvolvimento um programa de calagem e adubação. Um programa adequado neste aspecto deve ser estabelecido combinando essa informação com a história da cultura ou do sistema de produção, com a produtividade potencial do solo e com a capacidade de manejo do agricultor.
- Ela pode ser usada regularmente para monitorar o sistema de produção e avaliar as mudanças dos nutrientes no solo, e assim manter o programa geral de fertilidade passo a passo com outros insumos de produção, para produções altas e sustentáveis e maior potencial de lucro.

ESCOLHA DO LABORATÓRIO

Há uma considerável flexibilidade na escolha do laboratório para fazer a análise de solo. Existem três tipos que oferecem tais serviços:

- **Governo/Universidades** – Estes podem ser centralizados nas universidades ou descentralizados através das estações experimentais, outros “campus” ou escritórios de extensão locais.
- **Privados** – Tais serviços de solos são, geralmente, parte de uma empresa que também analisa alimentos, forragem, água, fertilizantes e outros materiais em uma base comercial.
- **Indústrias** – Algumas indústrias de fertilizantes e distribuidores oferecem análise de solo e análise foliar como parte de seu serviço ao consumidor e do programa de comercialização.

Cada serviço deve ter os mesmos objetivos: (1) alto padrão analítico, (2) tempo razoável para a remessa dos resultados, (3) recomendações de calcário e de fertilizantes para máximo potencial de lucro para o produtor, (4) respostas aos problemas ligados à fertilidade do solo que podem estar limitando as produções.

Onde existe possibilidade de escolha, deve-se selecionar com cuidado o laboratório de análise de solo. O calcário e os fertilizantes se constituem em grandes investimentos e representam uma parte significativa dos custos de produção do agricultor. Além disso, o uso eficiente desses produtos é crítico para os lucros gerais da propriedade e proteção ambiental (ver Capítulo 10).

COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO

Na análise de solo, o maior potencial de erro é na coleta da amostra. Quando uma amostra de 500 g (ou menos) de um solo analisado no laboratório representa vários hectares (até vários milhões de kg de solo nos primeiros 20 cm), ou uma área tão pequena como 0,05 ha, a coleta de uma amostra verdadeiramente representativa é um ponto crítico.

Se uma boa amostra é coletada, os resultados da análise podem fornecer uma estimativa confiável da situação dos nutrientes do solo. Em áreas muito extensas, o aumento no número de amostras aumenta a confiabilidade das recomendações. O mesmo procedimento deve ser usado na coleta da amostra, independentemente do tamanho da área sendo amostrada.

Colete a amostra de solo com cuidado para ter certeza que os resultados da análise serão representativos. Os laboratórios geralmente fornecem instruções para uma amostragem correta que pode incluir os seguintes passos:

Para amostragem normal

- Uma amostra composta deve ser feita de glebas que apresentam distintas: topografia, tipo de solo ou cor, ou histórico de manejo no passado. Assim, uma área muito grande precisa ser dividida em glebas uniformes em termos de solo ou culturas no passado, dependendo das características específicas locais. Dê a essa gleba um número de identificação permanente, guarde esse número e mantenha um mapa ou croqui das glebas amostradas.
- Use um balde plástico limpo, especialmente para análise de micronutrientes. Baldes de metal podem contaminar a amostra.

- Colete as amostras simples até a profundidade de 15 a 20 cm para culturas anuais, 7 a 10 cm para culturas perenes.
- Colete amostras simples de subsolo para avaliar o poder de suprimento de nutrientes. Amostras do subsolo ajudam na determinação da fertilidade geral do solo e podem servir para mostrar lixiviação excessiva de nutrientes como o nitrogênio (ver Capítulo 3).
- Colete mais que 20 amostras simples, ao acaso, cobrindo toda a gleba ou área de amostragem para obter uma amostra composta representativa. Dependendo do equipamento usado na amostragem (trado, pá reta, enxada, etc.) a amostra simples pode pesar de um a vários quilos.
- Misture bem as amostras simples coletadas na área amostrada para obter uma amostra composta representativa para a análise. Este passo é extremamente importante. Os torrões devem ser quebrados com os dedos enquanto a mistura está sendo feita. Mistura mal feita pode resultar em grandes erros de amostragem.
- Vários tipos de embalagem podem ser usados para envio da amostra composta ao laboratório. Alguns laboratórios fornecem as embalagens. Dois sacos plásticos reforçados e limpos podem ser usados. O saco plástico interno recebe a amostra composta e o externo deve conter a folha de informação e a identificação da amostra.
- Usando as mãos, transfira o solo misturado do balde e movimente as mãos, para frente e para trás da embalagem aberta, deixe o solo cair de modo que uma parte caia na embalagem e o restante de cada lado da embalagem. Repita o procedimento assegurando que toda a amostra composta do balde seja usada e que, ao fim, a amostra na embalagem tenha 500 g.
- Preencha completamente a folha de informação.
- Amostre cada gleba a cada 2 ou 3 anos, mais frequentemente se necessário.
- Guarde os resultados das análises.

Para áreas problemáticas

- Coleta amostras separadas, para as áreas boas e com problemas, usando a técnica descrita anteriormente.
- Colete amostras do solo superficial e do subsolo, em separado.
- Inclua uma descrição do problema e envie a descrição com as amostras.

Aumentando o número de amostras por gleba

Pesquisadores da Universidade de Missouri (EUA) compararam recomendações baseadas em análises de

solos médias e a técnica de amostragem por “grid” (uma amostra para cada 1,6 ha) em uma gleba de 32 ha. A vantagem do mapeamento detalhado da fertilidade do solo foi aparente neste projeto. A Figura 8-1 mostra a variação no campo (que no mapa do condado aparecia como um tipo de solo uniforme). Esta informação indicou a necessidade de variar as doses de fertilizantes de uma parte da gleba para outra, oferecendo uma oportunidade para um manejo mais específico da cultura por local, dentro da gleba.

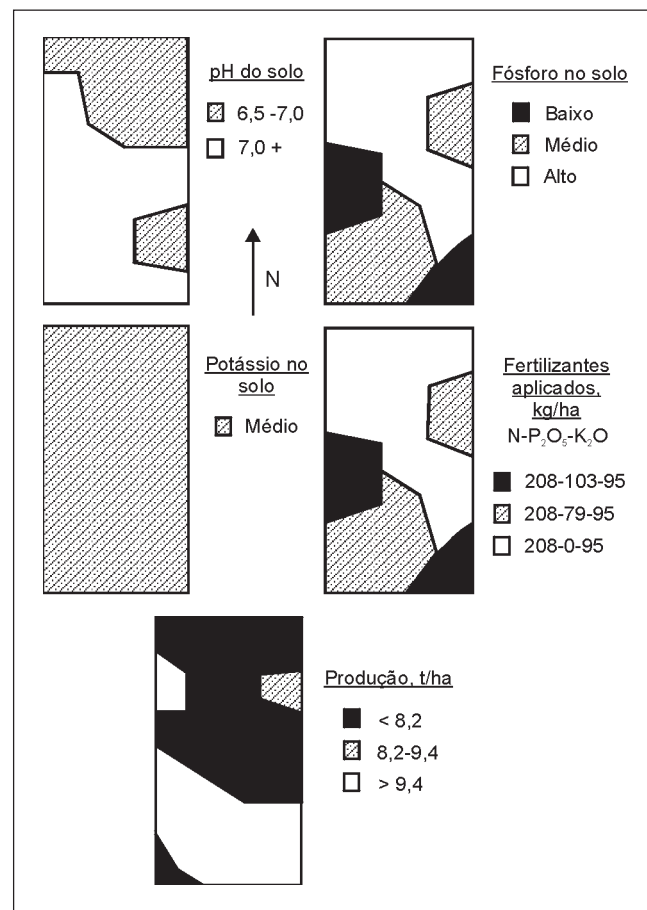


Figura 8-1. Gleba de 32 ha de milho no Sudeste do Missouri, EUA. Fertilidade do solo avaliada em amostra de 0 a 15 cm. Produção avaliada por colheita manual em faixas.

O uso de amostragem intensiva de solo e doses de fertilizantes específicas por local, no campo, para áreas diferentes dentro do “grid”, em realidade representou um aumento nos custos dos fertilizantes – de US\$ 103,00 para US\$ 117,00 por ha (Tabela 8-2). Entretanto, os gastos com nutrientes foram concentrados onde necessários, dando resultados mais lucrativos.

As recomendações específicas para cada local aumentaram o custo dos fertilizantes em cerca de US\$ 445,00 nos 32 ha. Também, a amostragem do solo,

mapeamento e aplicação de fertilizantes adicionou mais US\$ 1.000,00 nos custos. Entretanto, a produção aumentou de 2,3 para 3 t/ha, produzindo um aumento no retorno bruto de US\$ 7.000,00. Este retorno representou cerca de 500% do investimento no campo.

Tabela 8-2. Planos de adubação no campo, Sudeste do Missouri (EUA).

----- Recomendação média para a propriedade -----				
kg/ha	Nutriente	Custo US\$/kg	Hectares	Custo no campo US\$
208	N	0,37	32	2.463
22	P ₂ O ₅	0,46	32	324
66	K ₂ O	0,24	32	507
Custo do fertilizante por ha = US\$ 103			Total US\$ 3.294	
----- Recomendação específica por local -----				
kg/ha	Nutriente	Custo US\$/kg	Hectares	Custo no campo US\$
208	N	0,37	32	2.463
103	P ₂ O ₅	0,46	5	237
79	P ₂ O ₅	0,46	8,5	309
0	P ₂ O ₅	0,46	18,5	0
95	K ₂ O	0,24	32	730
Custo do fertilizante por ha = US\$ 117			Total US\$ 3.739	

ANALISANDO O SOLO

A maioria dos laboratórios de análise de solos usa equipamentos e métodos atualizados e sofisticados. A rapidez e precisão das determinações no laboratório são ajudadas por espectrografia de emissão e de plasma, espectrofotômetros de absorção atômica e melhores medidores de pH. A metodologia está constantemente sendo melhorada.

Por muitos anos as análises de solos mais utilizadas eram aquelas para determinar o fósforo e o potássio disponíveis e a necessidade de calcário. As necessidades de calcário eram determinadas medindo-se o pH e a acidez ativa mais o cálcio e magnésio disponíveis. Muitos laboratórios também determinavam a matéria orgânica e a CTC.

Hoje, um grande número de outras determinações pode ser feito com precisão no laboratório. Estas incluem o enxofre (S) e micronutrientes como o boro (B), o cloro (Cl), o cobre (Cu), o ferro (Fe), o manganês (Mn), o molibdênio (Mo) e o zinco (Zn).

Qualquer elemento pode ser determinado com precisão no laboratório sem significar, entretanto, que as recomendações para sua aplicação são igualmente precisas. Recomendações adequadas dependem de pes-

quisas no campo que relacionam os níveis de um nutriente no solo com as respostas das culturas a aplicações daquele nutriente.

As análises de solo ainda têm valor limitado nas recomendações do nitrogênio. Isto é decorrente da natureza de nitrogênio, de suas transformações constantes e do movimento no solo. O laboratório pode determinar o N total e a matéria orgânica, mas isto dá apenas uma idéia das reservas de nitrogênio no solo.

Determinações anuais de N-nitrato (N-NO₃) têm sido uma ferramenta eficiente para avaliar as necessidades de nitrogênio, particularmente em áreas com baixa pluviosidade. Profundidades de amostragem de até 60 cm têm sido eficientes na estimativa do N-NO₃ residual, disponível para cereais, sorgo para grãos e milho. Amostras a maiores profundidades são recomendadas para a beterraba açucareira. Recentemente, pesquisas têm indicado algum valor das determinações de N-NO₃ nos primeiros 30 cm de solo, como refinamento das recomendações de nitrogênio em áreas mais úmidas. A época de amostragem para determinação do N-NO₃ varia com a cultura, o clima e o tipo de solo.

INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

O retorno vem quando a análise de solo é usada em conjunto com todas as outras informações disponíveis para ajudar na elaboração de recomendações para maiores produções e lucros. A pessoa que faz as recomendações deve ser bem treinada e ter experiência na interpretação dos resultados das análises. Ele ou ela irá necessitar de toda informação possível sobre a gleba e sobre o agricultor.

A maioria dos agricultores que têm seus solos analisados está procurando meios de aumentar suas produções e seus lucros. Eles estão também interessados em construir e manter os níveis de fertilidade do solo enquanto protegem o ambiente. A pessoa que faz as recomendações sabe disso. O programa inclui as seguintes considerações:

- Recomendação para uma produção ótima da cultura de modo que todos os nutrientes sejam mantidos em níveis não limitantes da germinação até a maturidade.
- Se o solo apresenta nível médio ou baixo, doses corretivas mais doses de manutenção devem ser aplicadas para levar o nível de fertilidade do solo para a faixa alta. Os níveis dos nutrientes devem, então, ser verificados periodicamente para se ter certeza de que eles estão sendo mantidos.
- Manter uma fertilidade balanceada para uma ótima eficiência de uso pela cultura dos recursos do solo e da água.

A Tabela 8-3 mostra a relação entre classes de análise de solos para fósforo e potássio e a probabilidade de resposta à aplicação do nutriente. Entretanto, existe uma boa chance de resposta a níveis mais altos da análise do solo. Isto é verdade, especialmente quando os agricultores estão planejando para produções mais altas ou plantando mais cedo em solo frio e encharcado. As práticas de preparo, a compactação do solo e valores de pH muito altos ou muito baixos aumentam as chances de respostas ao fósforo e ao potássio, especialmente das adubações de arranque e mesmo em solos de fertilidade alta.

Tabela 8-3. Probabilidade de resposta a aplicações de fósforo e de potássio no sulco.

Classe de solo para P e K	Probabilidade de resposta a P e K, %
Baixo	95-100
Médio	65-95
Alto	30-65
Muito alto	10-30

Indiana, EUA

O agricultor que deseja aumentar os retornos deve receber recomendações de fertilizantes para produção máxima econômica e lucro máximo. Ao mesmo tempo, uma análise de solo proporciona uma boa oportunidade para fazer outras mudanças necessárias nas práticas de manejo das culturas.

Muitos agricultores, como homens de negócios, querem mais do que uma recomendação de fertilizantes que inclui somente as quantidades dos nutrientes necessários. Eles querem uma recomendação completa incluindo os tipos de fertilizantes, as épocas e métodos de aplicação, e outros componentes como a necessidade de calcário. Eles também querem um conjunto completo de planos para atingir uma alta meta de produção – variedade adequada e densidade de plantio, práticas culturais, época de plantio e colheita, uso adequado de herbicidas e pesticidas, etc.

Várias empresas servem aos agricultores coletando amostras de solo e plantas e acompanhando a cultura durante o ciclo. Isto abre uma nova dimensão para a análise de solos. Metas de produção são uma parte integrante e importante das recomendações.

ANÁLISE DE PLANTAS

O termo “análise de plantas” refere-se à análise total ou quantitativa dos nutrientes essenciais no tecido das plantas. Ela deve ser separada dos testes rápidos de tecidos de plantas, que será discutido mais à frente.

A análise de solos e a análise de plantas devem caminhar lado a lado. Uma não substitui a outra. Ambas

são ferramentas úteis na diagnose, e muitos bons agricultores utilizam as duas. Por muitos anos a análise de plantas tem sido usada para culturas arbóreas como pêsego, maçã, noz-pecan e outras fruteiras. Em função da natureza perene dessas culturas e seu amplo sistema radicular, a análise de plantas é especialmente adequada para determinar seu conteúdo de nutrientes.

À medida que mais se aprende sobre nutrição de plantas e exigências nutricionais durante a estação de crescimento, e como é possível a aplicação de nutrientes através de sistemas de irrigação, a análise de plantas assume maior importância. Também, para alcançar altas produções, é importante acompanhar a planta durante seu período total de crescimento. A análise de plantas está se tornando cada vez mais valiosa para culturas anuais e forrageiras.

Os cientistas têm à disposição novos métodos analíticos e equipamentos, tais como absorção atômica, e especialmente espectrógrafos de emissão, que podem analisar 10 ou mais elementos em questão de segundos.

Assim, um número considerável de laboratórios em diferentes países faz análise de plantas. A demanda por esse serviço vai aumentar à medida que as pesquisas enfatizam a necessidade de manejar a disponibilidade de nutrientes durante toda a estação de crescimento.

A análise de plantas é usada para:

- Confirmar a diagnose feita por sintomas visuais;
- Identificar a **fome escondida** onde os sintomas não apareçam;
- Localizar áreas ou manchas de solo onde ocorre a deficiência de um ou mais nutrientes;
- Determinar se os nutrientes aplicados entraram na planta;
- Aprender sobre interações entre vários nutrientes;
- Estudar o funcionamento interno de nutrientes nas plantas;
- Sugerir testes adicionais ou estudos para identificar um problema de produção da cultura.

Assim como na análise de solos, uma fase importante da análise de plantas é a coleta da amostra. A composição da planta varia com a idade, a parte da planta amostrada, a condição da planta, a variedade, o clima e outros fatores. Conseqüentemente, é necessário seguir as instruções de coleta de modo correto.

A maioria dos laboratórios fornece folhetos de instrução para a amostragem de várias culturas, mais informações adicionais para remessa das amostras. Eles usualmente sugerem o envio de uma amostra de área normal e outra de área com problema, para compara-

ção. Uma vez que experiência e conhecimento são vitais para proceder uma amostragem correta, o trabalho é geralmente executado por extensionistas ou consultores.

A análise de plantas está sendo motivo de grandes programas de pesquisas entre os nutricionistas de plantas nos dias atuais. Muita coisa precisa ser descoberta sobre essa “ferramenta” de diagnose, e a pesquisa está constantemente descobrindo fatos novos e estabelecendo padrões. Dados de análise de plantas devem ser interpretados por cientistas que são treinados neste segmento e que compreendem os fatores envolvidos. Sob essas condições ela é uma contribuição valiosa para as outras “ferramentas” de diagnose disponíveis.

DRIS

O DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação) é uma técnica matemática para aplicar informação sobre análise de plantas para diagnose do nutriente mais limitante em um sistema de produção. A avaliação é feita comparando-se o balanço relativo do conteúdo de nutrientes com normas estabelecidas para aquela cultura sob condições de alta produção. O balanço nutricional é uma fonte da própria interpretação do sistema DRIS porque as interações entre os nutrientes, em grande parte, determinam a produção e a qualidade da cultura. Esta relação é ilustrada no Conceito de Produção 8-1. Alguns países como os EUA, o Canadá, a China, etc., têm adotado o DRIS como uma parte de sua técnica de diagnose em áreas selecionadas.

Testes rápidos (testes de tecidos)

Um teste de tecido no campo é a determinação da quantidade de um nutriente da planta no suco celular; uma avaliação semi-quantitativa do nutriente não metabolizado e solúvel.

Uma grande quantidade de um nutriente não metabolizado no suco celular indica que a planta está obtendo o suficiente do nutriente sendo testado, para o crescimento normal. Se a quantidade é baixa, existe uma grande chance de que o nutriente está deficiente no solo ou não está sendo absorvido pela planta por causa da falta de umidade ou algum outro fator.

Testes de tecidos podem ser feitos fácil e rapidamente no campo. Tecidos verdes de plantas podem ser testados para vários nutrientes: N-NO₃, N, P, K e algumas vezes Mg, Mn e Fe. Entretanto, é necessário muita prática e experiência para interpretar os resultados, especialmente aqueles para Mg e micronutrientes.

Os testes de tecidos são usados para identificar um nutriente (N, P, ou K) que pode estar limitando a produção das culturas. Se um nutriente está muito baixo, os outros podem se acumular no suco celular por causa da restrição no crescimento da planta, o que resulta

em interpretação incorreta. Se uma cultura cresce vigorosamente após a correção da deficiência, pode-se deduzir que outros nutrientes não estão presentes em quantidades para alcançar altas produções. O que é identificado, ou é analisado, é o nutriente mais limitante a um estágio particular de crescimento.

Esse teste de tecido, no local, pode ser muito valioso nas mãos de um especialista. Sem sair do campo, a deficiência de nitrogênio pode ser detectada e as medidas corretivas sugeridas. Esta economia de tempo pode ser valiosa. Da mesma forma que para análise total de plantas, é compensador comparar plantas saudáveis com plantas com desenvolvimento anormal sempre que possível.

Os “kits” contendo instruções e reagentes para execução dos testes de tecidos estão disponíveis no mercado. Uma grande parte deles inclui instruções e suprimentos para determinação ainda do pH e P e K no solo. Antes de usar estes testes, deve-se fazer um treinamento específico para desenvolver a habilidade no diagnóstico.

Os testes de tecidos no campo não têm sido usados tão amplamente como poderiam. É mais simples para a maioria das pessoas enviar uma amostra de solo ou de planta a um laboratório ao invés de desenvolver a habilidade necessária para fazer e interpretar estes testes. Além disso, os reagentes para o teste devem ser mantidos frescos e em condição adequada de trabalho. Quando utilizado de modo adequado, os testes de tecidos funcionam bem com a análise de solos e a análise de plantas como outra “ferramenta” de diagnose.

SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA NAS PLANTAS

A arte de identificar sinais de fome de nutrientes é básica para produção lucrativa das culturas. Existem muitos auxílios disponíveis para desenvolvimento das habilidades na identificação de deficiências de nutrientes. Eles incluem boletins, cartazes e livros que mostram vários sintomas de deficiências coloridos. Além disso, parcelas experimentais com tratamentos conhecidos podem ajudar a calibrar os testes e os olhos. A chave de sintomas que segue é um ponto de partida.

Chave para Sintomas de Deficiência de Nutrientes nas Culturas

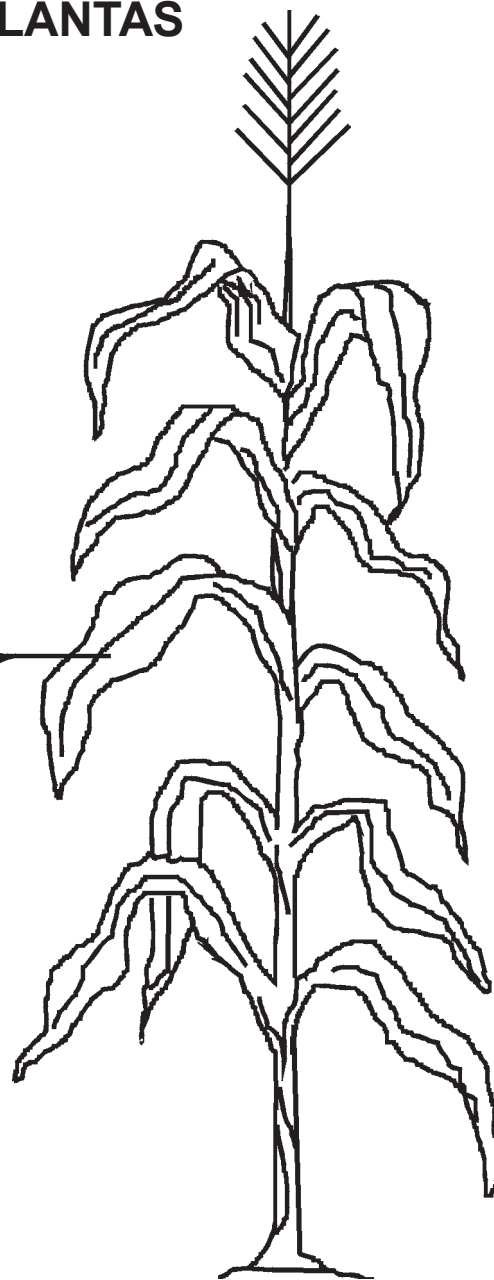
Nutriente	Mudança de cor nas folhas velhas (baixeiras) - (nutrientes translocáveis)
N	Plantas pequenas com cor verde-clara ou amareladas. Folhas velhas amarelecem primeiro (clorose)... o amarelecimento começa na ponta da folha e se estende ao longo da nervura central no milho e no sorgo.

CONCEITO DE PRODUÇÃO 8-1

O NITROGÊNIO AUMENTA A ABSORÇÃO DE OUTROS NUTRIENTES PELAS PLANTAS

	Dose de N		Diferença no conteúdo de outros nutrientes
	0 kg/ha	180 kg/ha	
N %	2,36	3,02	
P %	0,18	0,26	+ 0,08
K %	2,22	2,44	+ 0,22
Ca %	0,66	0,68	+ 0,02
Mg %	0,24	0,26	+ 0,02
Mn, ppm	40	47	+ 7
Fe, ppm	163	162	- 1
Zn, ppm	22	36	+ 14
B, ppm	12	18	+ 6
Cu, ppm	10	14	+ 4
Produção/ha	7,4 t	8,7 t	

Amostra de folha oposta e abaixo da espiga



POR QUE?

PORQUE o nitrogênio participa da formação dos “blocos de construção” chamados aminoácidos, dentro das plantas.

PORQUE esses “blocos” produzem protoplasma, levando à formação de células mais fortes na planta.

PORQUE estas células criam uma planta vigorosa, com um sistema radicular que procura por OUTROS nutrientes para ajudá-la a saciar o grande apetite de produção que o N promove.

Dados da Universidade de Illinois (EUA).

P	Plantas verde-escuro com matiz púrpura. Plantas e folhas menores.
K	Descoloração amarelo-castanho e queimadura ao longo da margem externa das folhas velhas... começa na ponta da folha no milho e no sorgo.
Mg	Descoloração verde-pálido próximo à ponta da folha, tornando-se amarelo-brilhante entre as nervuras, finalmente cor púrpura-avermelhada da margem para dentro.
Nutriente	Mudanças de cor nas folhas novas (nutrientes não translocáveis) A gema terminal morre
Ca	Atraso na emergência das folhas primárias, gemas terminais se deterioram. No milho, as pontas das folhas podem ficar grudadas.
B	As folhas próximas aos pontos de crescimento amarelecem, as gemas de crescimento apresentam-se como tecido branco ou castanho-claro, morto.
Nutriente	A gema terminal permanece viva
S	As folhas, inclusive as nervuras, tornam-se verde-claras ou amarelas... primeiro as folhas novas.
Zn	Clorose internerval pronunciada em citros e bronzeamento das folhas. No milho, faixas largas brancas a amarelas aparecem nas folhas em cada lado da nervura central. Plantas "atarracadas", internódios curtos. A gema pode morrer em algumas espécies de feijão.
Fe	Clorose que aparece primeiro nas folhas novas na ponta da brotação, a cor da folha muda uniformemente para amarelo, com exceção das nervuras; manchas castanhas ou tecido morto aparecem com deficiência severa.
Mn	Folhas cinza-amareladas ou cinza-avermelhadas com nervuras verdes, clorose marginal e internerval, as folhas cloróticas mantêm sua forma normal.
Cu	Folhas novas uniformemente amarelo-pálidas... podem secar e definhar sem clorose.
Cl	Seca das folhas superiores seguindo-se de clorose.

Nutriente A gema terminal permanece viva

Mo Folhas novas secam e morrem ao longo das margens. Clorose das folhas velhas por causa da inabilidade para utilização adequada do nitrogênio.

Lembre-se: Os sintomas de deficiência nem sempre são claramente definidos. O mascaramento por outros nutrientes, doenças ou insetos, pode dificultar uma correta diagnose de campo.

Lembre-se: Os sintomas de deficiência sempre indicam fome severa, nunca uma deficiência leve ou moderada.

Lembre-se: Muitas culturas iniciam uma queda na produtividade muito antes do início dos sintomas de deficiência tornarem-se evidentes. Este período, que representa perdas, é chamado de FOME OCULTA.

A fome oculta pode reduzir consideravelmente as produções e a qualidade da colheita, mesmo que a cultura não apresente nenhum sinal de fome. Um número crescente de propriedades está sofrendo esta situação.

FAÇA UMA DIAGNOSE COMPLETA

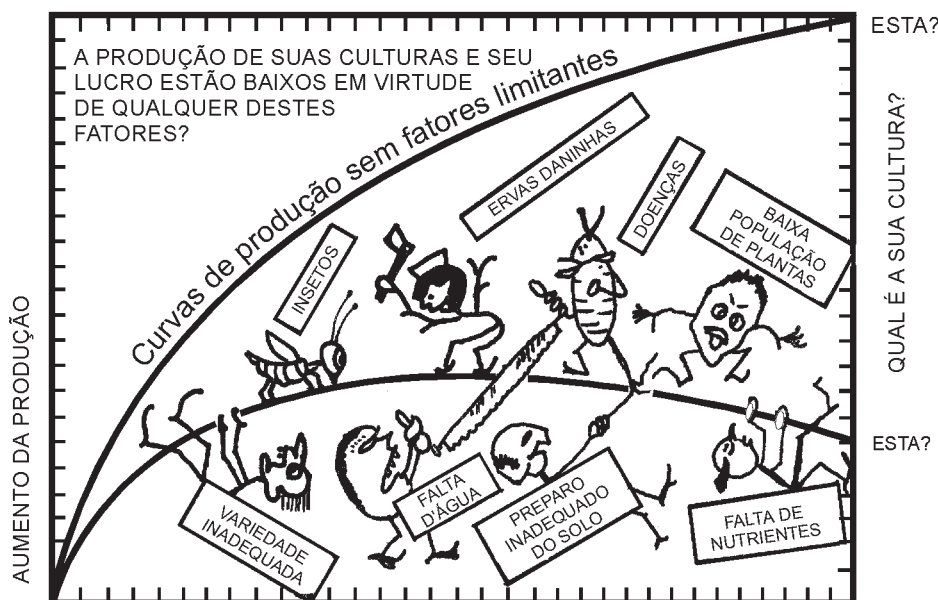
(Ver Conceito de Produção 8-2)

Para fazer uma diagnose COMPLETA você deve procurar mais do que problemas de fertilidade. Conheça as condições ambientais de crescimento das plantas. Este conhecimento o ajudará a identificar um problema que está induzindo, ou aumentando, uma deficiência nutricional aparente. Todos os fatores que influenciam o crescimento das plantas, a resposta à adubação e a produção devem ser avaliados.

- **Zona radicular** – O solo deve ser suficientemente granulado e permeável para a expansão e a alimentação abundante das raízes. Uma cultura desenvolverá um sistema radicular com 1,80 m ou mais de profundidade em alguns solos para obter água e nutrientes. Um solo raso ou compacto não oferece esta zona de alimentação para as raízes. Solos encharcados ou mal drenados resultam em sistema radicular raso.
- **Temperatura** – A baixa temperatura do solo reduz a decomposição da matéria orgânica. Isto diminui as quantidades de nitrogênio e enxofre, e de outros nutrientes a serem liberados. Os nutrientes são menos solúveis em solos frios, aumentando o potencial de deficiência. O fósforo e o potássio difundem-se mais lentamente em solos frios. A atividade radicular é diminuída.

CONCEITO DE PRODUÇÃO 8-2

COMO AUMENTAR A PRODUÇÃO E A PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS



O uso de doses adequadas de corretivos e fertilizantes é o fator que mais contribui para o aumento da produção e da produtividade das culturas.

Mas esse procedimento, sozinho, não resolve todos os problemas de baixa produção e baixa produtividade.

Devem-se levar em consideração, ainda, os seguintes aspectos, entre outros:

- **Umidade suficiente** (irrigação, quando possível, manejo adequado dos restos culturais, uso do gesso agrícola, etc.).
- **Variedades adaptadas e produtivas.**
- **Espaçamento e população adequada de plantas.**
- **Controle de plantas invasoras**, através da capina manual, mecânica ou uso de herbicidas.
- **Controle de pragas e doenças**, através de variedades tolerantes ou resistentes, uso de defensivos agrícolas e/ou controle biológico.
- **Rotação de culturas**, para diminuir a incidência de plantas invasoras, pragas e doenças.
- **Drenagem adequada** em áreas sujeitas ao encharcamento.
- **Melhoria da estrutura do solo** e manutenção do nível de matéria orgânica, através da rotação de culturas, adubação verde, incorporação dos restos das culturas e adubos orgânicos.
- **Uso de práticas adequadas** de conservação do solo.

**NÃO PERMITA QUE OUTROS FATORES
LITEM SUA PRODUTIVIDADE E LUCRO**

- **pH** – As condições ácidas do solo reduzem a disponibilidade de Ca, Mg, S, K, P e Mo e aumentam a disponibilidade de Fe, Mn, B, Cu e Zn. O nitrogênio é mais disponível entre pH 6,0 e 7,0. O pH do solo não afeta a disponibilidade de Cl.
- **Insetos** – Não confunda os danos causados por insetos com sintomas de deficiência. Examine as raízes, folhas e ramos em relação ao ataque de insetos, que pode parecer ou provocar deficiência de nutrientes.
- **Doenças** – Uma observação cuidadosa mostrará as diferenças entre as doenças de plantas e as deficiências nutricionais. As doenças podem, em geral, ser detectadas com uma lente de aumento.
- **Condições de umidade** – O solo, sob condições de seca, pode induzir à deficiência. O boro, o cobre e o potássio são bons exemplos. Esta é a razão pela qual as culturas respondem tão bem a tais nutrientes quando eles estão disponíveis em períodos secos. A seca retarda o movimento dos nutrientes para as raízes.
- **Problemas de salinidade** – Os sais solúveis e os álcalis são problemas em algumas áreas. Estas áreas podem cobrir uma pequena parte do terreno – geralmente onde ocorre um lençol freático elevado, onde ocorreu contaminação por água extraída de poços salgados, ou quando água de má qualidade é usada na irrigação.
- **Identificação de ervas daninhas** – Os herbicidas e o controle mecânico de ervas daninhas são mais importantes hoje do que no passado. As ervas daninhas competem com as plantas cultivadas por água, ar, luz e nutrientes. Algumas delas podem até liberar substâncias que inibem o crescimento das culturas. Aprenda como identificar e controlar as ervas daninhas.
- **Práticas de preparo** – Alguns solos desenvolvem hardpans (compactação) e necessitam de preparo profundo. Isto exige mais fósforo e potássio para construir a fertilidade do solo. Além disso, é desejável conhecer o nível de fertilidade do subsolo.
- **Espaçamento das plantas** – A largura entre linhas, o espaçamento das plantas nas linhas e o número de plantas por hectare têm efeitos importantes na produção.
- **Análise da água** – A água de irrigação contém N-NO_3 , S-SO_4 , B, K, bicarbonato, Cl e outros sais. Uma análise da água deve ser usada para modificar as práticas de produção para utilização de várias fontes de água.

IMPORTÂNCIA DAS PRÁTICAS CULTURAIS

O conhecimento do que foi feito em uma área, antes de ir até lá, pode ser um dos mais importantes instrumentos de diagnose que você pode utilizar.

Obtenha os fatos!

- Que culturas tem sido cultivadas?
- Quais sistemas de preparo do solo foram usados?
- Como foi planejada a irrigação?
- Como as culturas foram adubadas?
- Quando foi aplicado o calcário? Que tipo e quanto?
- Tem havido outros tratamentos? Se positivo, quais?
- Quando as culturas foram plantadas? Muito cedo? Muito tarde?
- Houve controle de pragas, doenças e plantas invasoras?
- Qual o aspecto da lavoura durante o ciclo?
- Foi muito seco? Muito quente? Muito frio? Muito encharcado?
- Quais foram as produções por área?
- Como foi a qualidade da cultura?
- Quais são as metas de produtividade?

Os laboratórios e os agrônomos vão diferir nas suas recomendações dependendo das respostas a essas questões, do conhecimento da experiência do produtor em termos de administração, das metas de produção, da necessidade de aumentar os níveis da análise de solos, do tipo de posse da terra... período que a mesma vai ser explorada pelo produtor. A construção da fertilidade do solo para produtividades mais altas é um investimento de capital que deve ser amortizado por um certo número de anos (ver discussão sobre construção da fertilidade a longo prazo no Capítulo 9).

A chave para diagnose e recomendações adequadas é obter os fatos de maneira sistemática e anotá-los. Uma lista de verificação vai ajudar a lembrar informações importantes.

O planejamento antecipado e o trabalho contínuo de diagnose dos problemas são essenciais para se atingir alta produtividade. O CALENDÁRIO DE DIAGNÓSTICO, apresentado na Tabela 8-3, é para o milho. Mas os princípios e conceitos nele contidos são aplicáveis a todas as culturas, quando se pretende observar e utilizar os instrumentos de diagnose para planejar o controle dos fatores limitantes. Este calendário foi preparado por Herbert L. Garrard, um agrônomo de Indiana (EUA), cujo trabalho tem sido respeitado desde 1920.

Tabela 8-3. Calendário de diagnóstico (Herbert L. Garrard, Indiana, EUA, 1920).

OUTONO	
Comece pelo planejamento antecipado	<ul style="list-style-type: none"> • Amostre os solos sob culturas no campo para o próximo ano. O que está deficiente?
Mas olhe para trás:	<ul style="list-style-type: none"> • Plantas suficientes? Espigas granadas? Tamanho adequado? A meta foi suficientemente alta?
População Áreas pobres? Produções?	<ul style="list-style-type: none"> • Anote e faça um mapa das áreas pobres. Pouco crescimento? Stand pobre? Colmos anormais? • Acamamento? Sintomas de deficiência? Ervas daninhas? Insetos? Doenças?
Problemas de drenagem?	<ul style="list-style-type: none"> • Outono é a melhor época para instalar sistemas de drenagem. Drenos suficientes?
Acamamento do milho?	<ul style="list-style-type: none"> • Acamamento das raízes: larvas nas raízes? Pouco K? Encharcamento? • Quebra de colmos: brocas no colmo? Doenças? Pouco K?
INVERNO	
Determine as metas de produtividade	<ul style="list-style-type: none"> • Qual é uma meta razoável para a sua propriedade? E para áreas específicas?
Visite agricultores próximos	<ul style="list-style-type: none"> • Compare anotações.
Visite vendedores e extensionistas	<ul style="list-style-type: none"> • Assegure-se do suprimento de calcário, fertilizantes e defensivos agrícolas.
Compareça às reuniões técnicas	<ul style="list-style-type: none"> • Estude cuidadosamente as novas informações: de pesquisa, extensão, empresas agrícolas.
Leia e estude	<ul style="list-style-type: none"> • Leia publicações para agricultores, revistas técnicas, lançamentos comerciais.
Verifique competições de híbridos para selecionar bem	<ul style="list-style-type: none"> • Compare vários híbridos, testes comparativos e tendências ao longo do tempo. Seu híbrido responderá ao manejo com alta densidade de plantio e altas doses de fertilizantes?
Esteja preparado cedo:	<ul style="list-style-type: none"> • Plantadeira pronta com o disco adequado? Calibrada para número suficiente de sementes/ha?
Máquinas preparadas?	<ul style="list-style-type: none"> • Profundidade adequada da semente? Fertilizante ao lado e abaixo da semente?
Potencial para compactação	<ul style="list-style-type: none"> • Evite equipamentos pesados em solos encharcados. Você já tem “camadas adensadas” na área?
Menor preparo do solo?	<ul style="list-style-type: none"> • Planeje cultivo mínimo se possível.
Nível de preparo do solo?	<ul style="list-style-type: none"> • Amostre logo os solos se você não o fez no outono.
Drenagem?	<ul style="list-style-type: none"> • Marque as áreas com problemas de drenagem logo nas primeiras chuvas. Poças d’água? Por que? Solução?
PRIMAVERA	
Esteja pronto! Vá! Verifique:	<ul style="list-style-type: none"> • Plante o milho cedo. Tire vantagem do pico de luminosidade para o período de crescimento.
Emergência?	<ul style="list-style-type: none"> • Crostas no solo? Profundidade de plantio? Germinação? Temperatura? Umidade?

Danos nas plântulas?	• Insetos? Doenças? Danos químicos por herbicidas ou fertilizantes? Pássaros? Raízes pouco profundas? Encharcamento? Fome?
Danos pelo cultivo?	• Corte das raízes?
Necessidade de N?	• Os níveis adequados dependem da quantidade de N aplicado, das chuvas e do potencial de produção. Quanto de N em cobertura é necessário?
Verifique outra vez! Padrões climáticos?	• Verifique os períodos de estresse durante o ciclo de crescimento. Anote dados não comuns sobre o clima durante o período inicial de crescimento, período de polinização e formação de grãos.

VERÃO

Caminhe pelos campos	• Inspeção os campos várias vezes durante o crescimento. Leve o mapa de solos com você.
Insetos? Doenças? Ervas daninhas?	• Procure doenças, insetos, ou danos aparentes nas folhas, colmos, espigas e raízes. As ervas daninhas estão competindo com a cultura por água e nutriente?
Fome de nutrientes?	• Qualquer sintoma de deficiência conhecido ou desconhecido?
Teste de tecidos	• Use teste de tecidos especialmente para detectar a fome escondida ou para ajudar a explicar diferenças entre áreas.
Análise de plantas	• Para análise do milho, colete a folha oposta e abaixo da espiga e antes do cabelo do milho tornar-se castanho; próximo ao pico do período de absorção de nutrientes.
Cave!	• Cave profundo para examinar detalhadamente as raízes quanto à restrição no crescimento e descoloração. Por que? Compactação? Seca? Baixo K? Insetos? Doenças?
Seca excessiva	• Quando muito seco? É possível irrigar?

OUTONO

Observe outra vez!	• Uma espiga madura em um colmo verde indica fertilidade adequada e um bom híbrido.
Aritmética do milho	• Antes e durante a colheita, pergunte a si mesmo: O “stand” foi adequado? Milhares de colmos por hectare? Espigas muito pequenas ou muito grandes para altas produções?
Verifique as colheitadeiras	• Sempre verifique de maneira correta as produções. • Não deixe parte da colheita no campo. Ajuste adequadamente a colheitadeira.
Faça as mudanças de manejo necessárias	• Estude detalhadamente a lista, e em seguida faça um resumo. Analise os solos antes de procurar orientação.

Observação:

Este Calendário de Diagnóstico é, sem dúvida, a melhor síntese que se conhece da necessidade de integração da coleta de dados de uma cultura, que somada aos conhecimentos agrônômicos aumentam as probabilidades de sucesso na obtenção das produções mais lucrativas. É realmente uma “obra de arte” agrônômica, adaptável às mais diferentes situações.

O que mais impressiona neste calendário é o fato de ter sido publicado em 1920, e os conceitos emitidos permanecerem válidos até os nossos dias.

OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

A análise de solos e a análise foliar podem responder a muitas perguntas sobre o crescimento das plantas. Outras “ferramentas” de diagnose e informação, incluindo as seguintes, não devem ser excluídas:

- **Materiais impressos** – Auxílios visuais, livros, folhetos e outras fontes de informação identificam os sintomas de deficiência, doenças, insetos, variedades adaptadas, etc. Você pode obtê-los dos sistemas de extensão, entidades de pesquisa, universidades e empresas privadas.
- **Especialistas em extensão**, agrônomos de empresas, representantes de indústrias químicas e outros profissionais estão a campo para ajudá-lo na diagnose dos problemas de produção das culturas. Use o conhecimento destes profissionais.
- **Treinamento em diagnose** – Muitos serviços de extensão, e outros, promovem treinamento teórico e excursões de campo sobre análise de solos, análise foliar, identificação de sintomas, fatos sobre novas variedades, controle de doenças e de ervas daninhas, preparo do solo e práticas de manejo.
- **Dias de campo** – Dias de campo envolvendo resultados de pesquisa e campos de demonstração, promovidos por especialistas de universidades, centros de pesquisa e indústrias, são grandes “salas de aula” para estudar as práticas de produção “in loco”.
- **Cursos intensivos sobre fertilidade do solo** – Estes cursos ajudam a rever os conceitos básicos e a aprender novas técnicas de produção. Muitas empresas conduzem treinamento periódico para ajudá-lo a melhorar sua técnica de diagnose e para intercâmbio de idéias e informações.

COLOCANDO AS COISAS JUNTAS

O desenvolvimento de técnicas adequadas de diagnose exige vontade. Vontade de aprender, de melhorar a habilidade. Os instrumentos estão disponíveis, mas precisam ser utilizados para terem valor. Estes instrumentos incluem:

- Um trado para amostragem do solo.
- Sacos plásticos ou caixas de papelão para envio de amostras de solo.
- Sacos de papel para envio de amostras de folhas.
- Instruções para coleta e preparo de amostras (solo e folhas).
- Questionário para acompanhar as amostras.
- Uma pá reta.
- Um canivete.

- “Kits” para determinação do pH e para teste de tecidos.
- Caderno para anotações.
- Caneta ou lápis.
- Uma fita métrica.
- Uma lente de bolso (aumento de 10 vezes).
- Uma lista de “checagem”.
- Uma câmara fotográfica.

Poucos produtores estudam sistematicamente suas áreas de produção. Falta de motivação pode ser um motivo. Mas o mais importante é a idéia de estar qualificado para diagnosticar a situação no campo. Prática, treinamento e consulta aos especialistas vai ajudá-lo a encontrar a solução. Os produtores devem ser encorajados para o uso da ajuda de especialistas na diagnose de suas necessidades.

RESUMO

Este capítulo identifica a análise de solos como um poderoso instrumento na agricultura de altas produções. Mas, uma análise de solo é somente tão boa quanto a amostra. O retorno vem quando a análise de solos é usada junto com todas as outras informações para ajudar a fazer recomendações a fim de obter maiores produções e maiores lucros. A pessoa que faz as recomendações precisa de todos os fatos disponíveis sobre a propriedade e sobre o produtor.

A análise de plantas é uma “ferramenta” que suplementa a análise de solos. Mas uma não substitui a outra. Da mesma forma que para a análise de solo, a amostragem correta é essencial. A análise de plantas deve ser interpretada por cientistas treinados para executar esse trabalho.

Testes rápidos de campo usam o suco celular para determinar que elemento ou elementos estão limitando a produção em um estágio particular de crescimento. Os testes de tecidos podem ser executados com sucesso no campo, por uma pessoa treinada.

Os sintomas de deficiência de 13 nutrientes foram descritos. Esses sintomas em geral não estão claramente definidos. Quando eles aparecem, significa fome severa. Muitas culturas começam a ter sua produção diminuída antes do desenvolvimento dos sintomas. Isto é chamado fome escondida, uma condição que diminui a qualidade e a produção das culturas antes dos sinais visíveis aparecerem.

Deve-se olhar, também, além dos problemas de fertilidade para fazer uma diagnose completa. Considere o ambiente total, da zona das raízes às práticas de cultivo. A importância das práticas culturais não deve ser diminuída quando se faz a diagnose das condições da cultura... cada passo da época de plantio até a calagem e adubação.

As pessoas estão falando sobre ajuste fino no manejo das culturas. Ser um perito em diagnose é uma maneira de manter culturas valiosas em direção a uma produção mais lucrativa e salutar para o ambiente. A

análise de solos, a análise de plantas e as técnicas de diagnose devem ser usadas em conjunto para aumentar a produção das culturas e os lucros. ■

CAPÍTULO 8 ANÁLISE DE SOLO, ANÁLISE DE PLANTAS E TÉCNICAS DE DIAGNOSE

PERGUNTAS DE REVISÃO

1. A análise de solo é uma _____.
2. (C ou E) Os níveis de fertilidade do solo em muitas fazendas do mundo estão declinando.
3. Culturas de arroz de alta produtividade podem diminuir o fósforo do solo em _____ ppm por ano e a análise do potássio em _____ ppm por ano.
4. O desenvolvimento de um programa de fertilidade do solo deve começar com a _____.
5. A análise de solos dá a base para _____ no desenvolvimento de um programa de calagem/adubação e pode ser usada para _____ o sistema de produção.
6. Os três tipos de serviços de análise de solo são _____ / _____, _____ e _____.
7. Uma boa análise de solo é somente tão boa quanto a _____.
8. As amostras de solo devem ser retiradas no campo a cada _____ a _____ anos, mais freqüentemente em alguns sistemas de manejo.
9. (C ou E) As áreas que apresentam problemas devem ser amostradas em separado das demais.
10. (C ou E) Amostragem intensiva do solo para determinar diferenças de fertilidade em áreas pequenas no campo resulta em menores custos com fertilizantes.
11. (C ou E) Deve-se tirar amostras de solo sob plantio direto (preparo conservacionista) da mesma forma que aquelas coletadas sob cultivo convencional, porque o laboratório está “calibrado” para corrigir as diferenças.
12. (C ou E) Se um nutriente pode ser determinado com precisão no laboratório, isto assegura que as recomendações de adubação são corretas.
13. (C ou E) A análise de solos para nitrogênio tem sido utilizada para determinar o $N-NO_3$ residual em áreas de baixa pluviosidade.
14. (C ou E) As análises de solos para nitrato devem ser repetidas anualmente por causa da mobilidade dessa forma de nitrogênio.
15. (C ou E) As culturas não respondem à adubação com fósforo e potássio quando os solos apresentam teores altos desses nutrientes.
16. A análise de solos e a _____ devem caminhar _____.
17. A _____, juntamente com a análise de solos, é uma importante “ferramenta” de diagnose para uma recomendação eficiente de fertilizantes.
18. A parte mais importante da análise de plantas é a _____.

19. Uma planta pode estar sofrendo de _____, mesmo quando os sintomas não são visíveis.
20. (C ou E) O Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) é outro nome para Manejo Integrado de Pragas (MIP).
21. (C ou E) Um teste rápido de tecido é a determinação da quantidade de nutriente no suco celular da planta.
22. O fertilizante nitrogenado (aumenta, diminui) a absorção de fósforo e potássio pelas plantas.
23. Descoloração amarelo-castanho e queima ao longo das margens das folhas velhas é tipicamente uma deficiência de _____.
24. Clorose internerval acentuada e bronzeamento das folhas superiores, combinados com pouco crescimento e internódios curtos, provavelmente indicam uma deficiência de _____.
25. Clorose nas folhas baixas (velhas), começando na ponta da folha e se estendendo até a nervura central, é causada por deficiência de _____.
26. (C ou E) A deficiência de fósforo é caracterizada por plantas verde-escuras.
27. A deficiência de enxofre usualmente aparece primeiro nas folhas _____.
28. Cinco condições ambientais que afetam o crescimento das plantas são: _____, _____, _____, _____ e _____.
29. (C ou E) Deve-se aprender tudo sobre uma área antes de ir até ela para fazer uma diagnose dos problemas.
30. Construir a fertilidade do solo é um _____ investimento e deve ser _____ em vários anos.
31. (C ou E) A resposta à aplicação de nutrientes pode ser maior ou menor do que a esperada porque muitos fatores afetam a "performance" das culturas.
32. (C ou E) É fácil tornar-se um especialista em diagnose.

ASPECTOS ECONÔMICOS E OUTROS BENEFÍCIOS DA ADUBAÇÃO

	Página
• Introdução	119
• Fertilizante e lucro do produtor	120
• Almejando alta produtividade	121
• Estabelecendo as metas de produção	122
• Altas produções: proteção ambiental, menores custos por unidade e maiores lucros	122
• O preço da cultura ou o preço do fertilizante afeta muito pouco a dose ótima do fertilizante	123
• Construindo a fertilidade do solo: um investimento a longo prazo	124
• Efeitos de longa duração do uso de fertilizantes	125
• As interações e eficiência dos fertilizantes	126
• Adubando para produtividade máxima econômica	126
• Outros aspectos da adubação	127
• Fontes orgânicas de fertilizantes	130
• O lugar do fertilizante na propriedade como um todo	130
• Resumo	131
• Perguntas de revisão	132

INTRODUÇÃO

Em 1950, a produção total de fertilizantes no mundo foi um pouco menor que 13 milhões de toneladas; no início dos anos 90 atingiu 135 milhões de toneladas. Este fantástico aumento de 10 vezes na produção de fertilizantes é bem correlacionado com vários fatores:

- Aumento na população mundial com maior demanda por alimentos, fibras e combustíveis;
- Maior produção das culturas por unidade de área;
- Maior produção total no mundo de culturas produtoras de alimentos.
- Maior preocupação com a importância de práticas corretas de adubação para aumento das produções e qualidade das culturas e, ao mesmo tempo, mantendo ou melhorando o ambiente (ver Capítulo 10).

Dados da China (Figura 9-1) ilustram a estreita relação entre o crescimento da população, a produção de grãos e o consumo de fertilizantes.

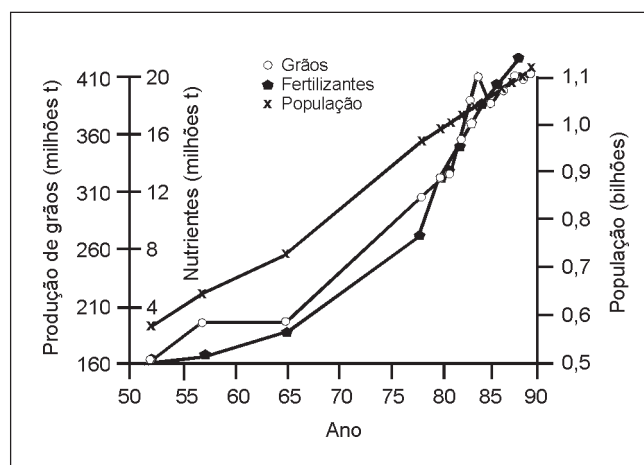


Figura 9-1. Produção de grãos, consumo de fertilizantes e população na China no período de 1952-1989.

Começando na década de 50, ocorreram mudanças na América do Norte e Europa que levaram à situação atual de produção e uso de fertilizantes em vários países no mundo. Algumas dessas mudanças incluem:

- Um extraordinário aumento na produção e uso de fertilizantes granulados, particularmente comercializados a granel;
- O desenvolvimento e crescimento dos fertilizantes fluidos na América do Norte, o que foi possível com a produção de ácido superfosfórico e polifosfatos de amônio;
- A aplicação direta da amônia anidra e outros fertilizantes líquidos na América do Norte;
- Introdução de fertilizantes de disponibilidade controlada como a uréia formaldeído e uréia revestida com enxofre;
- O descobrimento e exploração de reservas de potássio no Canadá e em vários outros países;
- O desenvolvimento dos depósitos de fosfato na Carolina do Norte e no oeste dos EUA;
- A introdução de métodos específicos de aplicação de fertilizantes e épocas;
- A mudança para o preparo conservacionista e práticas de manejo de resíduos em algumas partes do mundo;
- A consolidação da indústria de fertilizantes na América do Norte e na Europa;
- A expansão e a privatização da indústria de fertilizantes nos países desenvolvidos;
- Os contínuos esforços educacionais sobre os benefícios da adubação balanceada, feitos por cientistas, agricultores e elaboradores de políticas nos países desenvolvidos e em desenvolvimento;
- O desenvolvimento de práticas de manejo de fertilizantes que otimizam a produção das culturas enquanto mantém a qualidade ambiental;
- Um forte suporte financeiro dos países desenvolvidos para aqueles em desenvolvimento para estabelecimento de programas adequados de manejo de solos, incluindo a avaliação das necessidades e melhoria da fertilidade do solo e uso de fertilizantes.

De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), a produção das culturas na América do Norte vai continuar a crescer, talvez dobrando nos próximos 30 a 40 anos. Se isso ocorrer, a exploração agrícola para alimentar a América do Norte e seus vizinhos poderá ser feita em menos hectares. Isto poderá permitir que terras mais propensas a problemas ambientais sejam deixadas sob cobertura vegetal permanente, mantidas como preservação para vida silvestre ou deixadas para recreação.

Aumentos semelhantes ou ainda maiores são também possíveis em muitos dos países em desenvolvimento no mundo. Entretanto, muitos fatores sociais, incluindo o uso da terra, a posse da terra, os impostos, os aumentos da população, a infra-estrutura, a falta de educação, e os sistemas de comercialização, podem não permitir que terras frágeis em termos ambientais possam ser retiradas do processo de produção das culturas. Uma melhor eficiência no uso de fertilizantes, juntamente com melhoria no sistema educacional, que enfoque o uso da terra e o ambiente, precisa ser parte da pesquisa agrícola e dos programas educacionais nos países em desenvolvimento no futuro.

É evidente que os fertilizantes continuarão a crescer em importância à medida que o mundo produz mais gente para ser alimentada. Como usar esse insumo vital para a produção das culturas de modo lucrativo, eficiente e benéfico ao ambiente é um desafio para as pesquisas futuras.

FERTILIZANTE E LUCRO DO PRODUTOR

A agricultura apresenta dois extremos em relação à lucratividade: a) subsistência e b) alta lucratividade, com vários níveis entre os dois. A agricultura de subsistência ocupa uma grande porcentagem da população rural total no mundo. Essa agricultura de subsistência é, em geral, de baixo uso de insumos, de esgotamento dos recursos e não é sustentável à medida que o tamanho da família aumenta. Os agricultores de subsistência contribuem muito pouco para alimentar outras pessoas que não a sua família. Eles praticam agricultura com o objetivo de sobrevivência e não de lucratividade.

O restante da comunidade agrícola no mundo produz para lucro. Independentemente de suas preocupações ambientais, a única forma que estes agricultores podem manter suas atividades – para sustento próprio, e para o desenvolvimento social e econômico de suas famílias – é alcançar um lucro decente. A lucratividade é uma razão lógica, então, porque os agricultores adubam suas culturas. Como eles manejam isso é crítico para a lucratividade geral de suas propriedades. Considere o que uma redução nas doses de fertilizantes vai ou não fazer.

A redução na dose de fertilizantes NÃO vai:

- Diminuir o custo e os impostos sobre a terra ou as taxas.
- Diminuir as taxas de juros nos empréstimos para insumos.
- Diminuir os custos de preparo da terra.
- Diminuir os custos das sementes e dos defensivos.

- Diminuir os custos de tração animal ou maquinário.
- Diminuir os custos dos alimentos ou dos combustíveis.

A redução na dose de fertilizantes VAI:

- Diminuir as produções por unidade de área.
- Exaurir os nutrientes do solo.
- Diminuir a resistência das culturas à seca, às doenças, aos insetos e a outros estresses.
- Diminuir a cobertura das culturas e os resíduos, resultando em grande exposição à erosão.
- Diminuir os lucros do produtor e, por consequência, afetar negativamente a economia local.

Felizmente, produção lucrativa das culturas, incluindo o uso eficiente de fertilizantes e outras melhores práticas de manejo (MPM), e proteção ambiental caminham lado a lado. A Tabela 9-1 ilustra como a população de plantas e a adubação balanceada interagem para aumentar as produções de milho e, como consequência, os lucros potenciais do produtor. Ao mesmo tempo, menos nitrogênio permanece no solo, diminuindo o potencial de lixiviação do N-nitrato (N-NO₃) para o lençol freático (dados não mostrados).

Tabela 9-1. O aumento na população de plantas de milho interage com mais nitrogênio para aumentar a produção e a sua eficiência.

População plantas/ha	Produção (t/ha) nas doses de N (kg/ha) de			Resposta a N, t/ha
	90	180	270	
29.640	7,42	8,68	9,75	2,33
59.280	9,49	11,19	12,70	3,21
88.920	10,31	13,20	14,52	4,21
Resposta à população, t/ha	2,89	4,52	4,77	

Flórida, EUA

Os fertilizantes são responsáveis por 1/3 ou mais da produção total da cultura. Em muitos campos de alta produção esse aumento pelo uso de fertilizantes pode chegar a 60% ou mais. Na China, a adição de potássio aos níveis tradicionais de nitrogênio e fósforo – adubação balanceada – aumentou as produções de forma dramática (Tabela 9-2).

Isto demonstra como uma melhor prática de manejo (MPM) – adubação balanceada – melhora a utilização pela cultura do nitrogênio e fósforo aplicados e, conseqüentemente, reduz o potencial de escoamento superficial ou lixiviação de nitrato para o lençol freático.

Tabela 9-2. Porcentagem de aumento da produção de várias culturas em vários locais da China, resultante da aplicação de K com doses tradicionais de N-P.

Cultura	Aumento de produção pelo K (N e P constantes), %
Kenaf	55
Tomate	60
Soja	85
Canola	92
Batata	128
Milho	359
Feijão de corda	> 2.000

China

ALMEJANDO ALTA PRODUTIVIDADE

Existem quatro componentes dos lucros do produtor:

- **Custos de produção** – O produtor pode fazer muito pouco para controlar a elevação dos custos de produção, exceto aplicar as melhores práticas de manejo (MPM) e assegurar um uso mais eficiente dos insumos.
- **Preço de venda** – O produtor pode otimizar o preço recebido através da comercialização inteligente de produtos com qualidade, mas ele tem pouco controle sobre os preços do mercado, exceto sob certas condições locais de suprimento e demanda.
- **Produtividade da cultura** – O que o produtor pode fazer para aumentar a produção por hectare? Produtividades mais altas e eficientes devem ser o objetivo primordial.
- **Qualidade da cultura** – Preços mais altos são usualmente pagos por produtos de maior qualidade. Assim, os produtores devem esforçar-se por obter maiores produções das culturas com produtos de melhor qualidade. O uso eficiente e balanceado de fertilizantes, juntamente com outras melhores práticas de manejo (MPM), vai ajudar a atingir os objetivos.

Maiores produtividades e lucros por hectare estão muito relacionados, como ilustra a Figura 9-2. Esta relação tem sido mostrada repetidas vezes em propriedades agrícolas e parcelas experimentais.

Existem, entretanto, limites até onde a relação ilustrada na Figura 9-2 pode ir. A um certo ponto, o custo dos insumos necessários para fazer crescer a produção será maior do que o retorno recebido, tanto para o uso de fertilizantes como para outras melhores práticas de manejo (MPM). Ainda assim, a maioria dos pro-

dutores pode fazer um trabalho melhor no manejo dos insumos para aumentar os lucros do que o que está sendo feito atualmente, desde que as metas estabelecidas sejam realistas.

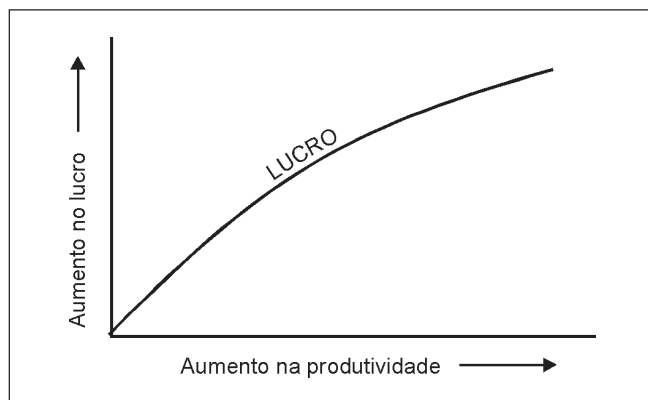


Figura 9-2. Quanto maior a produtividade, maior o lucro.

ESTABELECENDO AS METAS DE PRODUÇÃO

As metas de produção devem ser estabelecidas para cada talhão. Elas devem ser realistas e desafiadoras. Comece com uma análise das produções passadas. Olhe os padrões climáticos, avalie as práticas de manejo e os insumos usados. Converse com os vizinhos que estão obtendo produções mais altas. Consulte os extensionistas para obter orientação. Decida então que práticas devem ser melhoradas ou mudadas.

Estabeleça um programa para aumento da produção em 3 a 5 anos, com 5 a 10% de aumento cada ano. Esta porcentagem de aumento vai depender de vários fatores, incluindo culturas e produções anteriores. O tamanho da gleba é importante. Um plano mais conservador é mais recomendável em uma grande gleba enquanto um mais agressivo pode ser usado em áreas menores. O melhor sistema é procurar pela prática mais limitante, melhorando-a e, ao mesmo tempo, corrigindo outras práticas de manejo para alcançar a maior meta de produção esperada.

A Tabela 9-3 mostra como o uso de potássio em um programa de adubação balanceada aumentou as produções de arroz, reduziu as doenças e aumentou os lucros enquanto melhorava a eficiência de uso de nitrogênio e fósforo na Indonésia. Os dados ilustram a importância de um manejo equilibrado no aumento das produções enquanto melhora a eficiência de outros insumos externos.

Alcançar as metas de produção é como subir em uma escada. É um processo de manejo contínuo. Isto é, quando uma meta é alcançada, uma nova marca mais alta deve ser estabelecida.

Tabela 9-3. A adubação com potássio aumentou as produções de arroz, diminuiu as doenças e aumentou o retorno líquido, enquanto melhorava a eficiência de uso do fósforo e do potássio.

Dose de K ₂ O kg/ha	Aumento na produção kg/ha	Severidade de podridão do caule, %	Retorno líquido de K ₂ O US\$/ha
0	-	41	-
18	800	28	119
36	1.100	26	162
54	1.200	24	173

N e P nas doses recomendadas.

Indonésia

ALTAS PRODUÇÕES: PROTEÇÃO AMBIENTAL, MENORES CUSTOS POR UNIDADE E MAIORES LUCROS

Altas produções protegem o ambiente – um ingrediente importante e essencial para a sustentabilidade da produção agrícola. O crescimento inicial vigoroso das plantas forma com maior rapidez a cobertura do terreno (dossel) para proteger o solo da erosão hídrica e eólica. As plantas desenvolvem um sistema radicular mais robusto para manter o solo no lugar e permitir a absorção de água da chuva com maior rapidez. As plantas usam os nutrientes e a água do solo com maior eficiência e produzem maiores quantidades de resíduos de culturas com maior proteção contra os danos da erosão hídrica ou eólica. Quando decompostos, estes resíduos também reciclam nutrientes e matéria orgânica de volta para o solo.

A Tabela 9-4 mostra a relação entre níveis de resíduos, escoamento superficial e perdas de solo.

Tabela 9-4. Efeito do resíduo de superfície no escoamento superficial e perdas de solo.

Resíduos kg/ha	Escoamento superficial, como % da chuva	Perdas de solo t/ha
0	45	26,9
561	40	6,7
1.122	25	2,2
2.244	5	0,7

Indiana, EUA

Nos Estados Unidos, os agricultores buscam altas produtividades e alta eficiência de uso dos insumos. Isto resulta em um baixo custo por unidade produzida. Em outras palavras, custa menos produzir 1 kg de cultura a produtividades mais elevadas do que em baixas produtividades. Isto é ilustrado na Figura 9-3, onde se

vê a relação entre a produtividade do milho e os custos por unidade produzida. À medida que a produtividade aumenta de 6,29 t/ha para 11,32 t/ha, o custo para produzir cada kg diminui de US\$ 0,13 para US\$ 0,09, ou uma diferença de US\$ 40,00/t.

A Tabela 9-5 mostra uma combinação de produções e baixos custos por unidade, projetados para uma área de 120 hectares de milho, utilizando os dados da Tabela 9-3 e dois preços de milho. Os números entre parêntesis representam perdas.

Tabela 9-5. Influência da produtividade e custo por unidade produzida na lucratividade (120 ha, dois preços de milho).

Preço do milho US\$/t	Lucro em 120 hectares para (produção/custo)				
	6,29/130	7,54/114	8,80/102	10,06/94	11,32/87
	----- US\$ -----				
98	(24.154)	(14.777)	(4.224)	4.829	14.942
118	(9.058)	3.619	16.896	28.973	42.110

(Perdas entre parênteses)

A interação benéfica entre produtividade e custo por unidade produzida, mostrada na Tabela 9-5, é óbvia. Embora este exemplo seja dos EUA, as condições são idênticas em todo o mundo. Culturas de alta produção e bem manejadas reduzem os riscos associados com preços baixos e amplia a oportunidade de lucro. Um plano de comercialização bem feito pode aumentar ainda mais essas oportunidades.

Os princípios ilustrados na Figura 9-3 e Tabela 9-5 se aplicam a outras culturas, além do milho. A Tabela 9-6 mostra como altas produtividades e baixos custos por unidade traduzem-se em maiores lucros para plantadores de trigo no Paquistão.

Tabela 9-6. Menores custos por unidade significam mais lucro com trigo (dois preços).

Dose, kg/ha			Produção kg/ha	Custo do fert. Rupia/ha	Produção de grãos/kg N	Lucro – Rupia/ha	
N	P ₂ O	K ₂ O				a 2,7/kg	a 2,9/kg
150	0	0	2.157	1.200	14,4	4.624	5.055
150	100	0	3.219	2.000	21,5	6.691	7.335
150	100	60	3.583	2.360	23,9	7.314	8.031

Paquistão

Embora os exemplos anteriores possam não representar cada propriedade ou situação de uma propriedade, o princípio se aplica. E também os resultados. À medida que as produtividades aumentam, o custo por unidade cai e os lucros por hectare aumentam.

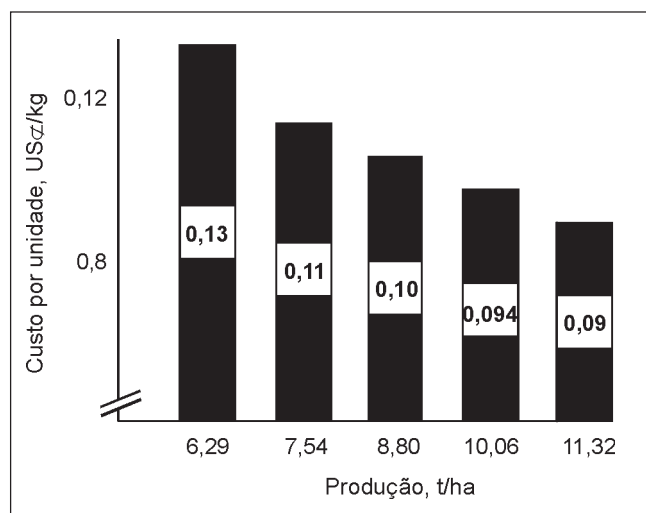


Figura 9-3. Altas produtividades de milho ajudam a baixar os custos de produção por unidade (Illinois, EUA).

O PREÇO DA CULTURA OU O PREÇO DO FERTILIZANTE AFETA MUITO POUCO A DOSE ÓTIMA DE FERTILIZANTE

A dose ótima do fertilizante muda muito pouco, seja pelo preço recebido pela produção, seja pelo custo do fertilizante, desde que a cultura continue a ser responsiva ao nutriente aplicado. Exemplos dos EUA e da China ilustram este princípio como mostram as Tabelas 9-7 e 9-8.

Quando os custos de nitrogênio são os mais altos e os preços do milho os mais baixos, a dose ótima de N é 186 kg/ha. Com o preço do milho mais alto e o preço do N menor, a dose ótima é 215 kg/ha, um aumento de apenas 29 kg ou 15,6%. Ao mesmo tempo, a relação custo de N:preço do milho mudou por um fator de 3.

De modo semelhante, à medida que o preço da cana-de-açúcar cai de US\$ 53,57 para US\$ 17,86 por tonelada, a dose ótima recomendada de K₂O ainda foi lucrativa, mesmo no preço mais alto de potássio, e a relação benefício:custo (RBC) ainda foi alta. Este caso é semelhante àquele para amendoim. Cálculos semelhantes com a maioria das culturas vão mostrar

que uma adubação balanceada, em geral, paga dividendos reais.

Quando se analisa os dados das Tabelas 9-7 e 9-8, dois fatos tornam-se evidentes:

Tabela 9-7. Doses ótimas de nitrogênio mudam muito pouco com as flutuações de preço do milho e do fertilizante.

Preço do milho US\$/t	Doses ótimas de N para o milho		
	US\$/kg N		
	0,26	0,40	0,53
	----- kg N/ha -----		
80	204	195	186
100	212	202	193
120	215	206	198

- Os preços dos produtos agrícolas afetam as doses ótimas de fertilizantes muito menos do que muitas pessoas acreditam. Por que? Porque o fertilizante representa uma porcentagem relativamente pequena dos custos totais de produção, embora os retornos sejam altos quando os nutrientes são aplicados e usados de maneira eficiente.
- Mesmo se os preços do fertilizante aumentarem significativamente – sempre uma preocupação entre os agricultores – existe pouca ou nenhuma justificativa para reduções drásticas no uso de nutrientes.

A mensagem é: as doses de fertilizantes devem ser as ótimas para construir e/ou manter alta fertilidade do solo, mesmo com preços menores da produção e/ou altos custos dos fertilizantes. Existem limites, mas muitos agrônomos compreendem que a dose mais lucrativa do fertilizante é próxima ao topo da curva de resposta da produção.

Assim, os níveis de fertilidade do solo de todos os nutrientes das plantas devem ser levados para a faixa alta e, em seguida, mantidos para alcançar altas produtividades, baixar os custos de produção por unidade, aumentar o lucro potencial e melhorar o ambiente.

Tabela 9-8. Na China, compensa adubar cana-de-açúcar e amendoim com as doses recomendadas de K₂O mesmo quando com altos preços do fertilizante e baixos preços dos produtos colhidos.

Custo de KCl US\$	Aumento ¹ no retorno líquido (US\$/ha) nos preços indicados de cana-de-açúcar ³				Aumento ² no retorno líquido (US\$/ha) nos preços indicados de amendoim			
	US\$/t e RBC				US\$/t e RBC			
	17,86	RBC	53,57	RBC	143	RBC	286	RBC
143	327	7,1	1.089	21,2	106	6,2	233	12,4
179	474	5,6	1.074	16,9	101	5,0	227	9,9
214	300	4,7	1.062	14,1	96	4,1	222	8,3
250	287	4,0	1.048	12,1	91	3,6	217	7,1

¹ Aumento médio da produção de 21,3 t/ha com 378 kg de KCl/ha.

² Aumento médio da produção de 885 kg/ha com 143 kg de KCl/ha.

³ Preços atuais da cana-de-açúcar de US\$ 53,57/t e do amendoim de US\$ 250/t.

CONSTRUINDO A FERTILIDADE DO SOLO: UM INVESTIMENTO A LONGO PRAZO

A compra do fertilizante nitrogenado representa um investimento a curto prazo uma vez que o retorno é esperado durante o ano de aplicação. Nutrientes como o fósforo, o potássio, o cálcio, o magnésio e outros são diferentes porque somente uma parte do retorno total do seu uso ocorre durante o ano de sua aplicação. Na maioria dos solos, a maior parte do fósforo e do potássio torna-se disponível com o tempo e é usada por culturas futuras.

Da mesma forma que os custos de desmatamento e preparo da terra para o plantio de culturas perenes e instalação de redes de drenagem ou sistemas de irrigação são recuperados com o correr de vários anos, assim são os custos com fósforo e potássio, que devem ser amortizados em vários anos. Seus benefícios são a longo prazo na natureza, e assim devem ser tratados.

O exemplo ilustrado na Tabela 9-9 mostra o menor custo para construir a fertilidade do solo passando de 25 mg/dm³ para 30 mg/dm³ e a quantidade de resposta na produção necessária para pagar por aquele aumento do fósforo no solo. Para alcançar isto são necessários cerca de 100 kg de P₂O₅/ha a um custo de US\$ 59,00 (assumindo o preço do P₂O₅ de US\$ 0,59 por kg).

Este exemplo mostra que no período de pagamento de 10 anos e preço do milho a US\$ 0,10 por kg, a produção teria que aumentar 113 kg por ano para recuperar o custo do fertilizante fosfatado. Ou, se não houve resposta em cinco anos dos dez, um aumento médio de 226 kg por hectare durante os outros cinco anos ainda pagaria o custo do P₂O₅. Não faz sentido econômico permitir que o fósforo, o potássio e outros nutrientes essenciais limitem a produção.

A construção da fertilidade oferece várias vantagens para o agricultor, se a terra é própria ou arrendada:

- Após a construção da fertilidade do solo para atingir a faixa alta, são necessárias apenas doses moderadas de fertilizantes para manter o nível. O potencial de produção é mantido por 5, 10 e mesmo 50 ou mais anos.
- A construção da fertilidade do solo vai devolver altas produções de amortização cada ano, mesmo com seca, excesso de umidade, frio, calor, doenças ou outros estresses.

Tabela 9-9. Pagamento anual do aumento da produção de milho necessário para pagar o custo do aumento do fósforo em 10 kg/ha na análise de solos, a 12% de juros nos custos.

Período de pagamento (anos)	Pagamento anual necessário (US\$/ha)	Resposta anual de produção necessária se o preço do milho é (US\$/t):		
		80	100	120
1	67,23	853	715	571
5	16,65	213	176	138
10	10,62	138	113	88
20	8,03	100	88	69

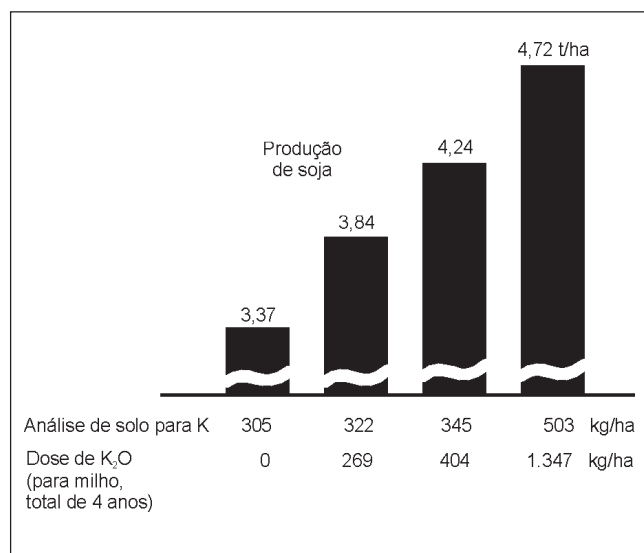
- Em alguns casos, o valor da terra (para revenda) aumenta com a produtividade. Compradores espartos vão pagar mais por terras bem manejadas porque eles sabem que os custos com os fertilizantes serão menores enquanto o potencial de produção permanece alto.

Deve-se lembrar que altas produções removem grandes quantidades dos nutrientes primários e secundários e podem exaurir o suprimento de micronutrientes do solo, em muitos casos (ver Tabelas 3-1, 4-1, 5-1, 6-1 e 7-1). Além da remoção pelas culturas, os nutrientes podem ser perdidos ao serem complexados no solo, através da erosão e lixiviação, e por volatilização do solo e superfícies das folhas. Um bom manejo ajuda a minimizar essas perdas.

Para assegurar que todos os nutrientes essenciais estão disponíveis em quantidades adequadas, e para determinar quais nutrientes são deficientes e quanto deles é necessário, a análise do solo deve ser feita regularmente. Isto ajuda o agricultor a monitorar e manejar os nutrientes para obter altas produções e altos lucros.

EFEITOS DE LONGA DURAÇÃO DOS FERTILIZANTES

A correção e a manutenção da fertilidade do solo são partes importantes da lucratividade a longo prazo. À medida que os agricultores melhoram o manejo, incluindo as práticas de adubação durante vários anos, as produções e os lucros aumentam. A Figura 9-4 mostra como a correção dos níveis de potássio durante quatro anos de cultivo contínuo de milho aumentou os teores na análise de solo e aumentou a produção de soja após o quarto cultivo do milho. Os benefícios residuais da alta fertilidade do solo para potássio na produção da soja são apenas parte da história. O aumento médio nas produções de milho em quatro anos foi de 1,6 toneladas por hectare.



Ohio, EUA

Figura 9-4. O potássio aplicado no milho corrige o K do solo e aumenta a produção de soja.

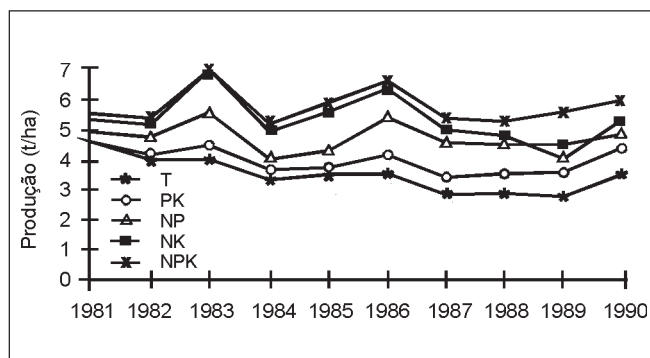
Um agricultor deve levar em conta que tomar por base decisões sobre o manejo de fertilizantes em resultados de curto prazo pode levar a resultados inadequados ou mesmo desastrosos. A Figura 9-4 ilustra bem esse ponto.

A Figura 9-5 mais uma vez demonstra que as decisões sobre o manejo de fertilizantes devem tomar por base dados de longo prazo. A cultura do arroz, em 1981, não mostrou grandes diferenças entre os tratamentos NP e NPK (Figura 9-5). Alguns agricultores podem até optar, a partir dos dados de 1981, por não usar qualquer fertilizante. Entretanto, as produções das parcelas testemunhas começaram e continuaram a diminuir já no ano de 1982, enquanto os tratamentos NP e NPK permaneceram com as produções bem próximas daquelas obtidas nos dois primeiros anos. Mas veja os dados de 1983 em diante. A superioridade das produtividades nos tratamentos com NPK é inquestionável.

No período de 10 anos (Figura 9-5), a média de produção da parcela testemunha (T) foi de apenas 3,1 t/ha enquanto a parcela NP produziu 5,0 t/ha. Nos preços atuais teria havido um aumento de US\$ 209,00/ha.ano na renda enquanto os gastos com N e P atingiriam apenas US\$ 117,00.

Melhor ainda foi o resultado do uso da adubação balanceada (NPK) que produziu uma média de 5,9 t/ha para um aumento no lucro anual de US\$ 122,00. O custo adicional foi de apenas US\$ 32,00. Iniciando em 1981, se o agricultor optasse por não usar N e P, as perdas atingiriam um total de US\$ 2.090,00/ha nos próximos 10 anos. Por não usar uma melhor prática de

manejo (MPM), no caso uma adubação balanceada, as perdas teriam um adicional de US\$ 1.220,00. A adubação balanceada é lucrativa a longo prazo.



Hunan, China

Figura 9-5. Flutuações da produção de arroz em experimentos de longa duração.

AS INTERAÇÕES E A EFICIÊNCIA DOS FERTILIZANTES

Uma interação pode ser definida como o efeito de um insumo ou fator de produção na resposta de outro fator (ver Tabela 9-10). A Tabela 9-10 ilustra como a variedade e a população de plantas interagem para aumentar a produção de uma variedade de milho enquanto diminui em outra variedade. A importância desses dados é ilustrar que só se pode otimizar as produções e os fertilizantes serem usados de modo eficiente quando outros princípios de manejo eficientes (variedade adequada e melhor população de plantas) forem seguidos. Obviamente, o agricultor que cultiva a variedade Danyu-15 com uma alta população de plantas está usando uma melhor prática de manejo (MPM).

Tabela 9-10. Variedade e população de plantas interagem para aumentar ou diminuir as produções de milho (t/ha) a um nível ótimo de fertilidade.

Variedade	Produção t/ha na população (plantas/ha) de:			
	63.420	72.465	81.525	90.585
Danyu-15	10,1	10,8	11,0	11,4
3A	7,0	8,2	8,6	7,7
MoA	7,4	7,2	7,0	6,7

Yunnan, China

Os dados da Tabela 9-11 mostram como o N, o P e o K interagem para aumentar as produções de trigo e melhorar a eficiência no uso de N. A análise dos dados mostra que o fósforo foi o nutriente mais limitante dos

três, mas foram necessários N, P e K para atingir a maior produção.

Tabela 9-11. Nitrogênio, fósforo e potássio interagem para aumentar as produções de trigo e melhorar a eficiência no uso do nitrogênio.

Tratamento, kg/ha			Produção de grãos t/ha	Eficiência de N kg/kg de N
N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
0	0	0	2,0	-
112	0	0	1,6	14,4
112	135	0	3,0	27,1
112	0	135	1,8	15,6
112	135	135	3,5	31,3

Oklahoma, EUA

As culturas mostram maior resposta quando a adubação e outras práticas de manejo interagem positivamente. As interações incluem fatores como espaçamento entre linhas, épocas de plantio, populações de plantas, variedades usadas, controle de plantas invasoras e de pragas, rotações, pH do solo e outros. Melhores retornos dos fertilizantes são obtidos quando se segue um sistema de produção de melhores práticas de manejo (MPM). Muitas interações que influenciam o uso eficiente de fertilizantes envolvem práticas de manejo que custam muito pouco ou não custam nada (Tabela 9-12). O momento preciso, por exemplo, é importante para o plantio, para a disponibilidade dos insumos, para o controle de pragas, ou para a simples monitoração no campo.

Tabela 9-12. Algumas práticas de manejo que custam muito pouco ou nada extra.

• Momento preciso	• Preparo do solo
• Variedade, híbrido	• Época de plantio
• Largura das ruas	• Localização da semente
• Localização do fertilizante	• Manter as anotações
• Observações no campo	• População de plantas

ADUBANDO PARA PRODUTIVIDADE MÁXIMA ECONÔMICA (PME)

A produtividade máxima econômica (PME) é aquela produção onde os custos por unidade produzida baixam até o ponto do maior retorno líquido por hectare, ou seja, a produção mais lucrativa. Outra definição de produtividade máxima econômica (PME) seria de um sistema de produção das melhores práticas de manejo (MPM).

A PME varia de um ano para outro e de uma gleba para outra. O clima, as pragas e outros fatores que influem nas produções devem ser tratados com uma base específica local. Cada um vai afetar o manejo dos insumos da produção, inclusive dos fertilizantes.

Quando se torna anti-econômico aumentar as doses dos fertilizantes? Certamente não é no ponto do retorno máximo por real investido e sim no ponto de lucro máximo. Muito tem sido falado sobre incrementos decrescentes. O ponto-chave para incrementos adicionais de fertilizantes não é se o último incremento produziu um retorno tão grande como o precedente, mas se o retorno foi maior do que o custo. A Tabela 9-13 ilustra este princípio.

Tabela 9-13. Retornos da adubação nitrogenada do milho.

Dose de N kg/ha	Produção t/ha	Aumento t/ha	Retorno líquido para N adicional \$/ha	Retorno/US\$ de N
0	5,0	-	-	-
33	6,3	1,32	114,51	7,20
67	7,4	1,07	89,41	5,63
101	8,2	0,88	72,10	4,53
135	8,9	0,69	53,30	3,35
168	9,4	0,50	34,40	2,16
202	9,7	0,25	9,20	0,58
236	9,7	0,06	(9,60)	(0,60)

Com base em milho a US\$ 100,00/t e preço do N de US\$ 0,53/kg. EUA

O incremento de 33 kg, passando de 135 para 168 kg de N/ha, produziu cerca de um terço do retorno dos 33 kg iniciais de N, mas ainda deu um retorno líquido de US\$ 34,40 por hectare, ou US\$ 2,16 para cada dólar investido. O agricultor deve avaliar os riscos – qual seria a margem em comparação ao potencial de perda da produção ou baixos preços da produção que ele ou ela estão dispostos a enfrentar. No fim, a melhor chance para obtenção de lucros elevados de forma sustentável vem do uso das MPM ou PME.

Anteriormente neste capítulo, as oportunidades de lucro foram relacionadas com produtividades mais altas e menores custos por unidade produzida. Agricultores de ponta estabelecem altas metas de produtividade porque eles querem maximizar suas oportunidades de lucro ou “zonas de lucro”. Eles sabem que as coisas nem sempre acontecem conforme planejado:

- As produtividades podem ser menores do que as metas almejadas;
- Os preços podem ser menores do que o esperado;

- Ambos, produções e preços podem ser menores do que o esperado;
- Os custos de produção podem exceder o orçamento previsto.

Produtividades altas e obtidas com eficiência podem ajudar a neutralizar esses pontos negativos e expandir as zonas de lucro. A Figura 9-6 mostra três zonas de lucro, três metas de produção e três níveis de custo de produção para o milho, com três preços de vendas: US\$ 80,00/t, US\$ 100,00/t e US\$ 120,00/t. Observe que as zonas de lucro se expandem à medida que as produtividades aumentam – à medida que se aproxima da PME.

Um agricultor com uma meta de produção de 4,4 t/ha de milho poderia tolerar apenas uma perda de 0,44 t/ha ou uma queda no preço de US\$ 14,40/t, sem sofrer uma perda, mesmo com o milho no valor de venda mais alto (US\$ 120,00/t). Por outro lado, um agricultor com uma meta de 11,3 t/ha poderia ainda ganhar dinheiro com reduções de 4,3 t/ha na produção ou de US\$ 50,00/t no preço. A resposta é clara: adube e siga outras MPM para atingir PME.

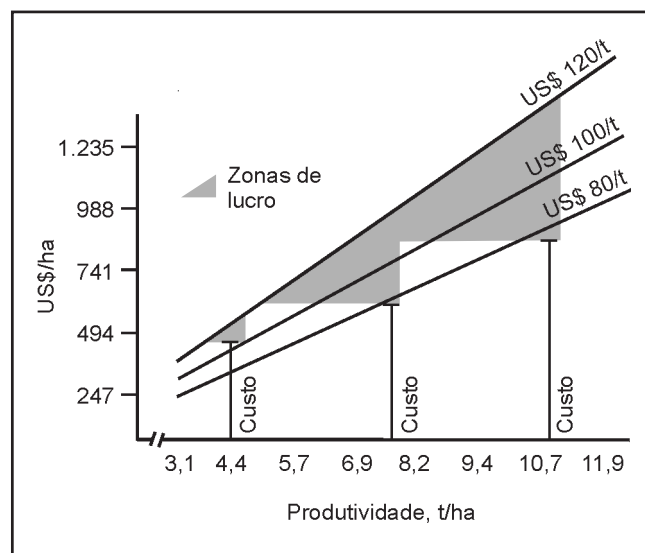


Figura 9-6. Zonas de lucro influenciadas pelo preço do milho, custo e produção.

OUTROS ASPECTOS DA ADUBAÇÃO

Calagem e pH do solo

A calagem dos solos ácidos para aumentar a eficiência do fertilizante é uma importante prática de manejo. Ela reduz os níveis de substâncias tóxicas no solo, melhora as características físicas do solo e aumenta a

atividade microbiana. A Tabela 9-14 mostra como as respostas à calagem podem ser dramáticas. Quão eficiente seria a adubação em tais solos? (ver Capítulo 2 para mais informações sobre calagem).

Tabela 9-14. Resposta da soja à calagem.

pH do solo	Dose de calcário		Produção
	t/ha		
5,1	0		1,2
	2,2		2,5
4,2	0		1,1
	13,4		2,9

Preparo do solo

Na América do Norte, na Europa e em vários outros países, a mudança das práticas convencionais de preparo (aração e gradagem) para sistemas de preparo reduzido (plantio direto, cultivo mínimo) está forçando mudanças nos métodos de aplicação de fertilizantes. O manejo de resíduos, sistema de leiras e outros fatores de manejo estão alterando os padrões radiculares e os hábitos de crescimento por causa de mudanças nas temperaturas do solo, na retenção de umidade, na distribuição de nutrientes e no acúmulo de matéria orgânica. Os Capítulos 3, 4, 5 e 10 discutem vários aspectos do manejo do preparo do solo e dos resíduos no uso de fertilizantes e na proteção ambiental. O uso da adubação de “arranque” e a localização dos adubos são mais importantes à medida que a frequência do preparo do solo é reduzida.

Melhoria na qualidade da cultura

Muitas vezes, a qualidade extra produzida pelos fertilizantes aumenta o valor de mercado o suficiente para pagar pelos fertilizantes. Uma melhor nutrição de plantas influencia a qualidade dos produtos de várias formas. Isto é claramente observado com o trigo, mostrado na Figura 9-7. Uma adubação balanceada é importante para o amadurecimento adequado, como mostrado no Conceito de Produção 9-1.

O nitrogênio aumenta o teor de proteína em culturas não leguminosas, produtoras de grãos e forrageiras. A Tabela 9-15 mostra como o nitrogênio aumenta tanto a produção como o teor de proteína no milho.

No Vietnã, a soja crescendo em solo degradado na parte norte do país mostrou aumentos na produção de proteína no grão e na quantidade de óleo com uma adubação balanceada (Tabela 9-16).

O fósforo também aumenta a qualidade dos grãos e da forragem. Em um estudo no Arizona, EUA, vacas

de corte com 0,2% de P na sua ração tiveram uma taxa de concepção de 59%, em comparação com 89% quando o P da dieta aumentou para 0,3%.

Figura 9-7. A qualidade das sementes de trigo mostra a necessidade de uma adubação balanceada (Sichuan, China).

Tabela 9-15. O nitrogênio aumenta a produção e o teor de proteína no milho.

Dose de N kg/ha	Produção de grãos t/ha	Proteína nos grãos %
0	7,4	8,0
100	10,0	8,5
200	11,5	9,5

Tabela 9-16. Fósforo e potássio combinam para aumentar a produção e fatores de qualidade na soja.

Dose, kg/ha	Produção de grãos			Proteína kg/ha	Óleo kg/ha
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
30	45	0	1,0	416	217
30	45	45	1,2	495	248
30	45	90	1,3	557	264
30	90	0	1,4	575	296
30	90	45	1,6	632	322
30	90	90	1,7	680	345

Vietnã

O potássio reduz a intensidade de doenças das culturas tais como ferrugem da vagem e do caule da soja, o que leva a uma maior qualidade e menores perdas durante o armazenamento (ver Conceito de Produção 5-1). Na China, o potássio diminuiu as doenças de maneira tão acentuada que os agricultores pensaram que o adubo potássico fosse um fungicida. A Tabela 9-17 mostra o efeito do potássio nas doenças de várias culturas na China.

O FERTILIZANTE ACELERA A MATURIDADE

A MATURIDADE DA PLANTA É COMO O LUCRO DO AGRICULTOR quando se relaciona com o crescimento. A maturidade, como o lucro, está no balanço – **BALANÇO DA FERTILIDADE**. A planta está no campo para crescer, reproduzir-se e produzir sementes. E ela sabe disso. Frequentemente a planta evita atingir a maturidade das sementes e dos frutos. **UMA ADUBAÇÃO EQUILIBRADA** ajuda a acelerar a maturidade.

Efeito na maturidade do milho...



	Dose de fertilizante, kg/ha	
	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 337-168-0	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 337-168-225
Porcentagem de plantas “embonecadas” em 21 de julho	4	42
Produção, t/ha	9,5	11,8

Efeito na maturidade do algodão...



	Dose de fertilizante, kg/ha	
	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 0-56-56	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 12-56-56
Primeira colheita, %	66	81
Produção de pluma, kg/ha	2.129	2.345

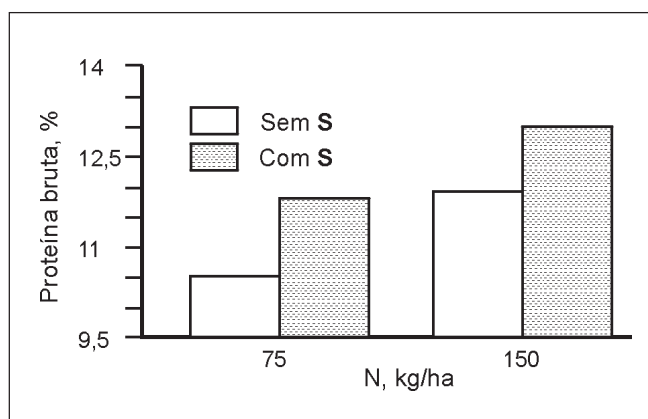
Tabela 9-17. O potássio diminui a incidência de doenças quando adicionado a fertilizantes contendo N e P.

Cultura	Doença	Redução da doença (%)
Arroz	Crestamento da bainha	26-54
	Brusone	30-45
	Doenças bacterianas	13-30
	Mancha parda	80-88
Algodão	Vermelhão das folhas e murcha do caule	13
Soja	Podridão da vagem	48
Milho	Podridão do caule	32

China

Numerosos projetos de pesquisa na China têm mostrado que a qualidade da cultura é melhorada pela adição de potássio na adubação NP (adubação balanceada). Aumentos de 6,8% na produção de arroz polido (sem casca), de 0,46 mg/100g no teor de vitamina C em citros, de 4,6 kg/g na resistência da fibra do rami, de 0,8-2,6 mm no comprimento da fibra de algodão, de 1,46-2,68% nas gorduras brutas em canola e de 0,4-0,45% no teor de açúcar na melancia têm sido citados na literatura.

Outros nutrientes essenciais às plantas também podem afetar a qualidade da cultura. A Figura 9-8 mostra como o enxofre (S) aumentou o teor de proteína na grama bahia.



Florida, EUA

Figura 9-8. O enxofre aumenta o teor de proteína na grama bahia.

FONTES ORGÂNICAS DE FERTILIZANTES

O uso de fontes orgânicas ou “naturais” tem sido o carro-chefe na China e em muitos outros países em desenvolvimento, durante séculos. Hoje, o mesmo sis-

tema está recebendo grande atenção na América do Norte, Europa e outras partes do mundo.

Embora a produção agrícola tenha utilizado fontes orgânicas como esterco animal por anos, e continua a utilizar, existem limitações de ordem prática e econômica para o seu uso. A China, que no passado era considerado um país que poderia sobreviver somente com adubos orgânicos, é agora o maior consumidor de fertilizantes manufaturados. A China é um bom exemplo das limitações do uso de adubos orgânicos.

Sob o ponto de vista da produção das culturas, não existe diferença entre as várias fontes de nutrientes porque as plantas não utilizam os nutrientes na sua forma “original”. Pelo contrário, todos os nutrientes precisam estar na forma iônica antes deles poderem ser absorvidos pelas raízes das plantas. Assim sendo, se a fonte original é orgânica ou inorgânica não tem identidade para as plantas.

As plantas necessitam da presença dos nutrientes em quantidade adequada, contínua e balanceada para assegurar seu desenvolvimento. Como consequência, os fertilizantes orgânicos e os inorgânicos devem ser utilizados juntos para alcançar PME.

A preocupação de alguns de que os fertilizantes manufaturados não são “naturais” não tem base científica. Na realidade, o processamento e a utilização dos depósitos de fósforo e potássio representam o fim da reciclagem, levando os nutrientes de volta ao solo de onde eles foram removidos originalmente pelo intemperismo natural. Quanto ao nitrogênio, aproximadamente 80% da atmosfera da Terra é N gasoso, aquele que nós respiramos a cada momento, que é usado para fabricar fertilizantes nitrogenados e o mesmo nitrogênio que o sistema *Rhizobium*/leguminosa utiliza para produzir seu próprio nitrogênio. Fertilizantes manufaturados são tão “naturais” na sua origem como as fontes orgânicas.

O LUGAR DO FERTILIZANTE NA PROPRIEDADE COMO UM TODO

Algumas vezes, problemas de fluxo de caixa exigem retornos a curto prazo ao invés de benefícios a longo prazo. Neste caso, todo o potencial para compra de insumos, inclusive fertilizantes, deve ser avaliado em relação à meta de máximo retorno sobre o último dólar gasto. A Tabela 9-18 ilustra este princípio sobre o retorno a curto prazo do último incremento do fertilizante fosfatado comprado. O preço da soja foi de US\$ 0,24/kg e o do P₂O₅ de US\$ 0,59/kg.

Neste exemplo da Tabela 9-18, um agricultor para maximizar o lucro aplicaria cerca de 68 kg de P₂O₅/ha.

Entretanto, se o capital está limitando todas as compras desejadas, o retorno ao último incremento de fósforo torna-se importante.

Se outro insumo, por exemplo suplemento protéico, estiver apto a retornar US\$ 2,00 por dólar investido, este suplemento deve ser adquirido antes que a adubação com P_2O_5 ultrapasse 51 kg/ha.

RESUMO

Lembre-se, o manejo dos fertilizantes deve ser considerado a longo prazo, mas a realidade da economia a curto prazo, muitas vezes, abre precedentes. Deve-se enfatizar, entretanto, que tais considerações **apenas são importantes quando a economia a curto prazo dita as regras.** ■

Tabela 9-18. À medida que se aumenta a dose de fosfato para a soja, o lucro aumenta para um máximo, mas o retorno a curto prazo, por dólar investido no último incremento, diminui.

Dose de P_2O_5	Produção	Aumento da produção	Valor do incremento	Lucro do P_2O_5	Retorno sobre o último incremento
kg/ha	t/ha	kg/ha	US\$/ha	US\$/ha	US\$/US\$
0	2,35	-	-	-	-
17	2,59	236	48,92	38,89	4,87
34	2,76	175	38,54	67,40	3,84
51	2,87	108	23,72	81,09	2,36
68	2,92	47	10,38	81,44	1,03
85	2,93	13	2,96	74,37	(0,70)

CAPÍTULO 9

ADUBE PARA TER LUCRO

PERGUNTAS DE REVISÃO

1. Entre 1950 e o início da década de 90, a produção de fertilizantes aumentou de cerca de _____ para ao redor de _____ milhões de toneladas por ano.
2. (C ou E) O descobrimento e a exploração das reservas de potássio do Canadá ocorreram após 1950.
3. O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) estima que a produção de várias culturas nos Estados Unidos deverá duplicar nos próximos _____ a _____ anos.
4. (C ou E) Reduzir as doses de fertilizantes vai diminuir os custos de sementes e pesticidas.
5. (C ou E) Reduzir as doses ótimas de fertilizantes vai diminuir a renda potencial.
6. Cerca de _____ da produção total das culturas é devido aos fertilizantes; entretanto, em certos campos individuais, os fertilizantes são responsáveis por até _____% ou mais.
7. Um dólar investido em fertilizantes pode devolver até US\$ _____ ou mais.
8. Os quatro componentes do lucro do produtor são: _____, _____, _____ e _____.
9. Quando almejar altas produções, estabeleça um programa de aumento das produções de _____ a _____ anos e trabalhe para obter uma porcentagem de aumento anual de _____ a _____, desde que você, como produtor, seja um bom empresário.
10. (C ou E) Altas produções ajudam a proteger o ambiente.
11. (C ou E) Altas produções baixam os custos de produção por unidade e dão um maior retorno por hectare.
12. (C ou E) À medida que os custos de produção caem, os lucros aumentam.
13. Culturas de altas produtividades (aumentam, diminuem) os riscos associados com preços baixos.
14. (C ou E) Quando os preços dos fertilizantes são altos e o valor das culturas é baixo, o uso de fertilizantes deve ser reduzido drasticamente.
15. A análise de solos deve ser construída para levar à faixa _____ e, em seguida, mantida para suportar _____ produções, _____ custos de produção e _____ potencial de lucro.
16. (C ou E) À medida que a relação entre preços da cultura e custos de fertilizante se estreita, há uma queda proporcional no uso econômico do fertilizante.
17. A compra de fertilizantes nitrogenados é um investimento a (curto prazo, longo prazo).
18. A compra de fósforo e potássio é um investimento a (curto prazo, longo prazo).
19. (C ou E) O valor de revenda da terra pode ser aumentado pelo manejo eficiente dos fertilizantes.
20. Um dos benefícios da alta fertilidade do solo é seu efeito _____ na produção das culturas subsequentes.
21. Uma _____ refere-se ao efeito de um fator de produção na resposta de outro fator.
22. O plantio cedo e a adubação potássica do milho _____ positivamente para aumentar o potencial de produção.
23. Quatro “insumos” de produção sem custos ou de baixos custos são _____, _____, _____ e _____.

24. Aquela produção da cultura na qual os custos unitários são diminuídos para o ponto de maior retorno líquido por hectare é conhecida como _____.
25. (C ou E) PME é um sistema de MPM.
26. (C ou E) A chave para decidir pelo uso de incrementos adicionais de fertilizantes é se o último incremento produziu ou não um retorno tão alto como o precedente.
27. As zonas de lucro potencial _____ à medida que as produções aumentam.
28. (C ou E) A calagem diminui as substâncias tóxicas no solo.
29. (C ou E) A mudança para sistemas de preparo reduzido do solo vai ter pouca influência nos métodos de aplicação dos fertilizantes.
30. O nitrogênio (aumenta, diminui) o teor de proteína em plantas não leguminosas.
31. O fósforo aumenta o teor de P nos grãos e forragens e melhora a _____ de vacas para corte.
32. O potássio diminui as doenças na soja tais como a ferrugem da _____ e do _____.
33. (C ou E) O enxofre aumenta o teor de proteína das culturas.
34. Existem limitações de ordem _____ e _____ para uso de fontes orgânicas de fertilizantes como o esterco animal.
35. (C ou E) Sob o ponto de vista da cultura, não existem diferenças entre as várias fontes de fertilizantes.
36. Fertilizantes manufaturados (são, não são) produtos “naturais”.
37. Algumas vezes problemas de _____ exigem retornos a curto prazo ao invés de benefícios a longo prazo.

NUTRIENTES DE PLANTAS E O AMBIENTE

	Página
• Nitrogênio	135
• Fósforo	136
• Potássio, magnésio e enxofre	137
• Micronutrientes	137
• Os dois objetivos principais para produção lucrativa e segurança ambiental	137
• Adote planos de manejo par atingir metas de produtividade e ambientais	139
• Perguntas de revisão	143

TODOS OS NUTRIENTES ESSENCIAIS necessários para a produção de alimentos e fibras estão envolvidos com a qualidade do ambiente. Em conjunto, eles aumentam tanto o potencial de produção como a qualidade ambiental das empresas agrícolas, quando usados em quantidades adequadas e equilibradas.

Os nutrientes de plantas promovem uma cultura mais vigorosa, sadia e produtiva... aquelas que desenvolvem um maior sistema radicular, mais resíduos de superfície, maior velocidade na formação da cobertura vegetal, melhoria na eficiência de uso da água, e maior resistência a estresses decorrentes de seca, pragas, temperaturas baixas, época de plantio, etc.

Embora os nutrientes essenciais das plantas exerçam um papel vital no suprimento adequado de alimentos e na proteção do nosso ambiente, alguns apresentam certos riscos a esse último quando manejados de maneira inadequada. Os dois nutrientes mais frequentemente associados com manejo inadequado e com a poluição ambiental são o nitrogênio (N) e o fósforo (P).

NITROGÊNIO

Perdas de nitrogênio podem ocorrer com a erosão do solo. O nitrogênio do solo em resíduos das culturas, esterco de animais e em outras frações orgânicas (inclusive biomassa de microrganismos do solo) está sujeito à erosão e ao movimento com a água e sedimentos do solo.

A maior preocupação em relação ao N e o ambiente diz respeito ao movimento potencial do N-nitrato ($N-NO_3$) não utilizado ou em excesso, através do perfil do solo, e que atinge o lençol freático (lixiviação). Em função de sua carga negativa, o $N-NO_3$ não é atraído para as várias frações do solo. Ao contrário, ele está livre

para lixiviar à medida que a água se movimenta pelo perfil do solo. A Figura 10-1 ilustra o movimento relativo do $N-NO_3$ em diferentes tipos de solo.

Todas as fontes de N... comercial, leguminosas, resíduos de culturas, matéria orgânica do solo e esterco de animais... são rapidamente convertidas para a forma de $N-NO_3$ nos solos (ver Capítulo 3). Conseqüentemente, todas estão sujeitas à lixiviação para o lençol freático a menos que sejam utilizadas por uma cultura em crescimento ou retidas na forma de N amoniacal ($N-NH_4$) através de práticas de manejo.

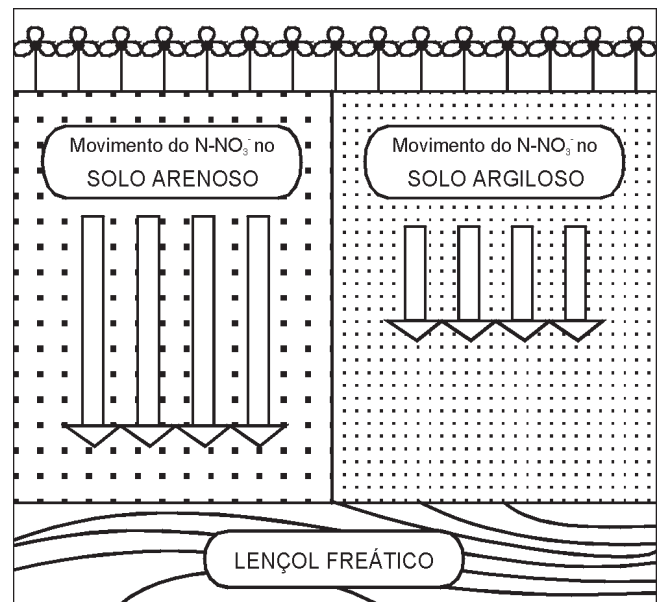


Figura 10-1. O N-nitrato é mais passível de se movimentar para baixo em um solo arenoso do que em um solo argiloso.

Existe pouca base científica para recomendar uma fonte de N ao invés de outra por razões ambientais. Fontes de N orgânicas em geral deixam maiores níveis de $N-NO_3$ no solo porque, com base na tecnologia atual, eles são mais difíceis de manejar adequadamente do que fontes comerciais de N.

Como descrito no Capítulo 3, o N sofre transformações no solo dependendo de vários fatores, incluindo umidade, temperatura, pH do solo, aeração do solo, etc. O resultado final é um ganho líquido ou perda de N na natureza. O processo total é conhecido como o Ciclo do Nitrogênio, como mostrado na Figura 10-2.

Práticas culturais podem controlar, em grande parte, as perdas de N dos solos agrícolas. Isto é recomendável tanto sob o ponto de vista econômico quanto ambiental. Diminuição das perdas de N significa maior disponibilidade para a produção das culturas e menor possibilidade de movimento para as águas superficiais e para o lençol freático.

FÓSFORO

O fósforo tem sido associado com efeitos ambientais principalmente pela eutrofização de lagos, baías e áreas de água parada. Eutrofização é a resposta destas águas ao enriquecimento excessivo de nutrientes. Esse enriquecimento pode ser natural ou causado pelo homem. Os sintomas de eutrofização são crescimento excessivo de algas, formando “tapetes” de vegetação aquática, e desoxigenação da água (exclusão de oxigênio).

O fato de que o P é extremamente imóvel nos solos foi discutido no Capítulo 4. Ele é retido (adsorvido) muito fortemente pelas superfícies dos óxidos e hidróxidos de ferro (Fe), de alumínio (Al) e de manganês (Mn) em solos ácidos. Ele é também adsorvido por partículas de argila e, em solos calcários, é precipitado pelos íons de cálcio (Ca) para produzir vários tipos de fosfatos de cálcio.

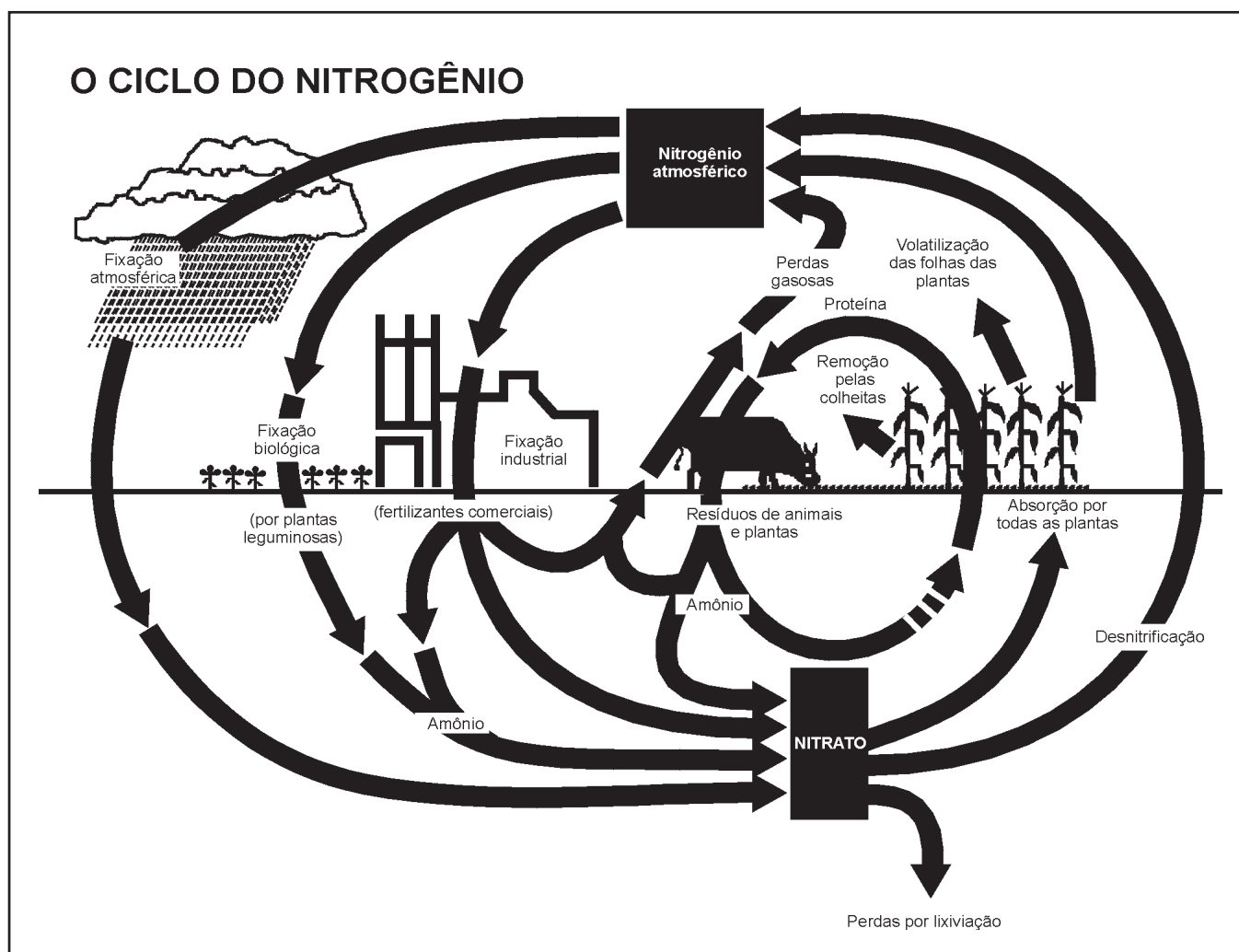


Figura 10-2. O ciclo do nitrogênio.

As adições de P usado na agricultura aos armazenamentos de água são quase totalmente associadas com a erosão. O movimento do P está associado à erosão porque:

- O P tem uma solubilidade muito pequena.
- O P movimenta-se muito pouco na maioria dos solos.
- Concentrações muito pequenas de P são encontradas na maioria das águas de drenagem.
- Quando a erosão e as perdas de sedimentos são paralisadas, as perdas de P são minimizadas.

POTÁSSIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE

O potássio (K) na água não apresenta efeito detrimental à saúde ou ao ambiente. Ele é essencial para a saúde humana e animal. A absorção normal na dieta humana varia de 2.000 a 6.000 miligramas de K por dia... muito acima da concentração nos suprimentos de água. O potássio exerce um papel positivo e vital no ambiente porque seu suprimento adequado é essencial para a utilização eficiente do N e do P, ajudando a afastar esses nutrientes dos suprimentos de água. A Figura 10-3 mostra o efeito do K no aumento da produção de algodão. Com o aumento da produção, menos N deixa de ser transportado... e assim reduz-se o potencial de lixiviação de $N-NO_3$ para o lençol freático.

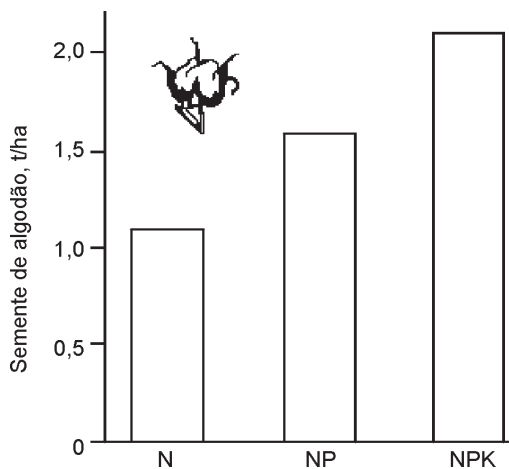


Figura 10-3. A adubação balanceada aumenta a produção de sementes de algodão. Colômbia

Magnésio (Mg) e enxofre (S), partindo de fontes usadas na agricultura, não são considerados motivos de preocupação ambiental. Ambos são nutrientes essenciais às plantas e precisam ser, normalmente, fornecidos pela adubação, com base em análise de solos e análise foliar. Como outros nutrientes essenciais, com suprimento inadequado eles podem fazer diminuir a eficiência no uso de N e P.

MICRONUTRIENTES

Os micronutrientes contribuem significativamente para a produção de alimentos e, conseqüentemente, para a saúde humana. Aplicações de micronutrientes, com base na análise de solos e/ou análise foliar, apresentam um impacto ambiental positivo pelos seus efeitos no aumento da produtividade das culturas e no uso mais eficiente de outros nutrientes. A importância dos micronutrientes está aumentando à medida que a produtividade das culturas aumenta, e uma produção agrícola sustentável requer que eles sejam reaplicados ao solo.

Existe, comumente, uma confusão com o cloro (Cl), um dos micronutrientes essenciais. Ele tem sido confundido com o cloro gasoso, que é um gás venenoso e nunca encontrado livre na natureza. O cloro ocorre na natureza como cloreto de sódio (NaCl), cloreto de potássio (KCl) e sais de outros metais. O cloro não tem sido associado com problemas ambientais ou de saúde. Cloreto de potássio... muriato de potássio... é um importante fertilizante potássico. Ele contém cerca de 47% de Cl. Cloreto de sódio... sal de cozinha comum... apresenta mais de 60% de Cl.

OS DOIS OBJETIVOS PRINCIPAIS PARA PRODUÇÃO LUCRATIVA E SEGURANÇA AMBIENTAL

Dois objetivos distintos de manejo das culturas devem ser considerados para assegurar que quantidades adequadas de nutrientes sejam usadas na agricultura para manter níveis adequados e lucrativos de produção e, ao mesmo tempo, minimizar qualquer efeito potencial negativo no ambiente.

Objetivo um: Manejar as culturas para ótima eficiência dos nutrientes através do uso das melhores práticas de manejo das culturas (MPM) e do sistema de manejo integrado de culturas (MIC), nos quais todos os insumos para produção estão balanceados em níveis ótimos.

Objetivo dois: Manejar as culturas para ótima eficiência dos nutrientes através do uso de MPM, que utilizam técnicas de conservação do solo e da água, de acordo com a especificidade local, para otimizar a retenção do solo e minimizar as perdas para o lençol freático.

As MPM envolvem ambas: práticas de conservação e práticas agrônômicas. Incorporar tecnologia de MPM em um sistema de produção é a chave para o sucesso econômico e ambiental. As MPM são definitivamente específicas para cada lugar... uma MPM para

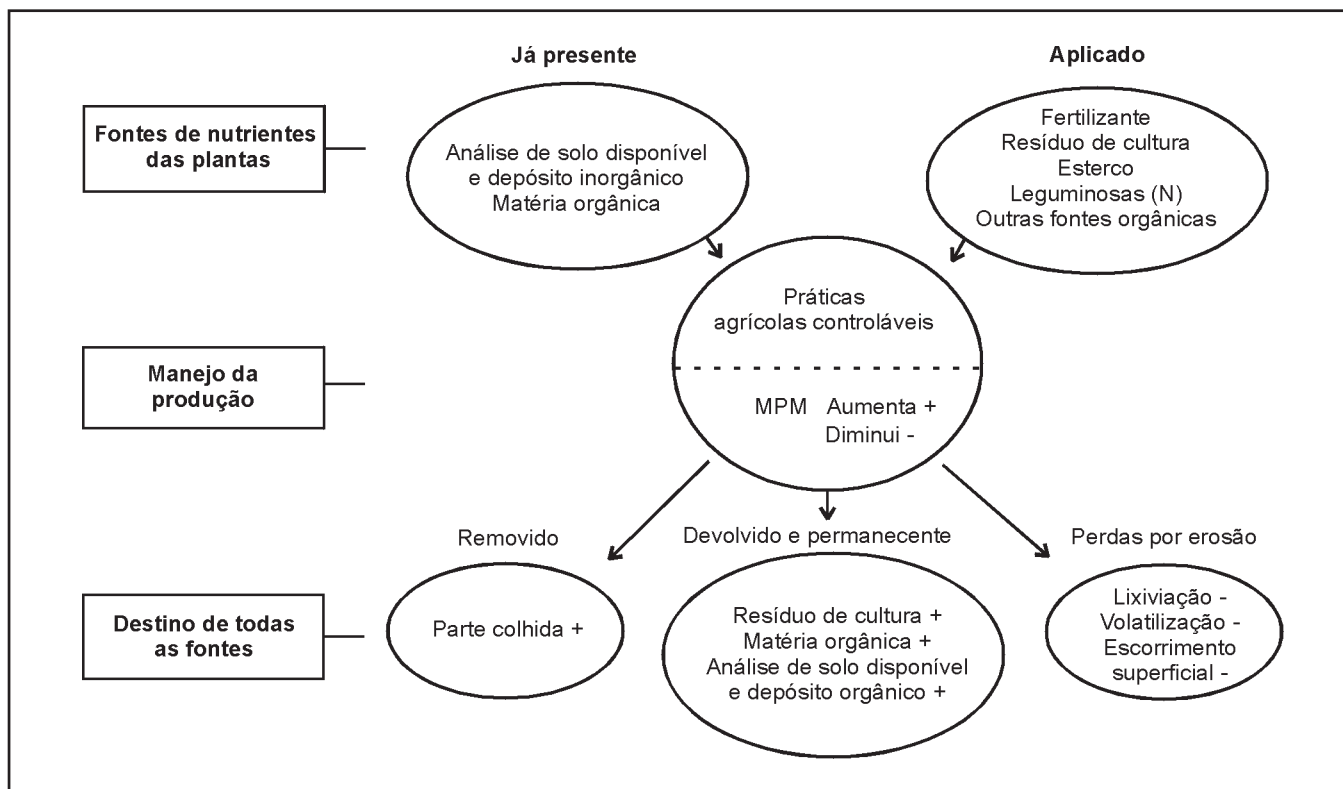


Figura 10-4. Relação das fontes de nutrientes, práticas agrícolas e o destino dos nutrientes de plantas em um sistema de produção de culturas (adaptada de Follett et al. Soil Science Society of America, Special Publication 19, 1987).

um local não é necessariamente a mesma em outro. Elas variam para diferentes culturas, solos e climas. Elas se constituem em práticas que foram testadas pela pesquisa e pela implementação pelos agricultores para atingirem ótimo potencial de produção, eficiência dos insumos e proteção ambiental.

As MPM ajudam o agricultor a alcançar níveis de produção das culturas onde os custos por unidade de produção e lixiviação de $N-NO_3$ por unidade de produção sejam próximos do mínimo.

Quase todo $N-NO_3$ que é lixiviado durante o inverno ou entre culturas vem da mineralização da matéria orgânica. Quando o N do fertilizante é aplicado **em doses que não excedem o ótimo econômico**, sua contribuição direta para a lixiviação do $N-NO_3$ é pequena.

A produção da cultura utilizando MPM, que inclui adubação adequada para ótimo potencial de produção, vai aumentar os resíduos das culturas e o potencial de lixiviação de $N-NO_3$ da mineralização do N nestes resíduos. Mas mais resíduos também significam aumentos nos níveis de matéria orgânica, o que se constitui em fator positivo tanto em termos de fertilidade do solo como de ambiente. Práticas de manejo após a colheita, que minimizem o potencial de mineralização da matéria orgânica, tais como o uso de plantas de cobertu-

ra, fazem parte do pacote de MPM. As pesquisas continuam a mostrar que a matéria orgânica aumenta o potencial de produção das culturas.

A Figura 10-4 dá uma visão conceitual das fontes, práticas agrícolas e destino dos nutrientes das plantas em um sistema de produção das culturas. As MPM exercem uma função vital ajudando a aumentar a eficiência no uso de nutrientes pela cultura, a aumentar a reciclagem de nutrientes nos resíduos das culturas e a aumentar os níveis de matéria orgânica do solo. Ao mesmo tempo, as MPM reduzem as perdas de nutrientes via erosão, lixiviação, volatilização, desnitrificação ou escorrimento superficial.

O impacto ambiental e a resposta agrônômica resultante de qualquer insumo de produção agrícola são determinados por esse insumo específico mas também pelo nível de manejo de todos os outros insumos ou ações controláveis no sistema de produção. À medida que as MPM são colocadas juntas para atingir um sistema integrado de produção das culturas, a eficiência do N e de outros nutrientes aplicados aumenta, enquanto as possibilidades de qualquer efeito detrimental sobre a qualidade da água diminui.

Por exemplo, quando o N está equilibrado com outros nutrientes advindos de fertilizantes, tais como P e

K, a produtividade aumenta. Mais N vai para a produção da cultura, enquanto menos permanece no solo, reduzindo, assim, as chances de lixiviação de $N-NO_3$ para o lençol freático.

A Tabela 10-1 mostra que a adubação adequada do sorgo granífero, em experimentos conduzidos em casa de vegetação, resultou em melhor produção... e maior eficiência no uso de outros nutrientes.

Tabela 10-1. A adubação NPK adequada preserva a produtividade.

Tratamento	Produção relativa, %
NPK adequado	100
Sem N	39
Sem P	41
Sem K	80

China

A recomendação de fertilizante utilizando as MPM permite às culturas produzirem em um nível econômico ótimo que, para a maioria delas, é também o ponto de maior proteção ambiental.

Um exemplo de recomendação de fertilizante utilizando MPM em pesquisa de trigo, na Dinamarca, é mostrado na Figura 10-5. Pouco ou nenhum $N-NO_3$ foi deixado no solo acima do nível normal no fim do período de crescimento. As recomendações de nitrogênio foram ajustadas para um nível de produção ótimo econômico. Os pesquisadores observaram que a quantidade de $N-NO_3$ lixiviado aumentou muito lentamente comparada com o aumento de produção acima do nível de produção ótimo econômico. Esta também foi a dose que ocasionou a mínima lixiviação de $N-NO_3$ por unidade de produção da cultura.

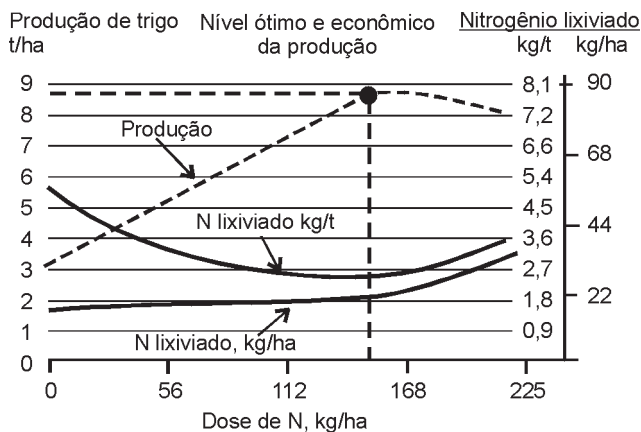


Figura 10-5. Efeito da adubação nitrogenada sobre a produção de trigo e lixiviação de $N-NO_3$ (Cortesia: Grupo Agrícola, Norsk Hydro a.s., Norway).

ADOTE PLANOS DE MANEJO PARA ATINGIR METAS DE PRODUTIVIDADE E AMBIENTAIS

1. Estabeleça metas de produtividade: determine metas ótimas, mas realistas, para cada cultura e para cada gleba. A necessidade de nutrientes aumenta com a produtividade. A Tabela 10-2 mostra os nutrientes absorvidos pela cultura do arroz em três níveis de produtividade. Constitui-se uma prática para MPM ter certeza de que teores adequados de nutrientes, mas não em excesso, estão prontamente disponíveis para a cultura desde a semeadura até a maturidade.

Tabela 10-2. Exigências nutricionais do arroz para atingir altas produtividades.

Produtividade t/ha	Absorção de nutrientes, kg/ha				
	N	P_2O_5	K_2O	Mg	S
3,5	65	28	98	8	6
7,0	130	56	194	16	12
10,5	195	84	291	24	18

2. Utilize análise de solo e análise foliar. Estas são as melhores ferramentas para a diagnose da quantidade e disponibilidade de nutrientes do solo e as quantidades que devem ser aplicadas para a meta de produtividade. Avalie as necessidades de nutrientes com freqüentes análises de solo para P, K, Ca, S, Mg, micronutrientes e pH. A análise foliar confirma diagnoses das necessidades de nutrientes e pode identificar as necessidades durante o período de crescimento.

Além disso, testes mais confiáveis para a avaliação da disponibilidade de N no solo estão sendo desenvolvidos. O teste de tecidos para N é uma boa “ferramenta” a ser usada para ajudar a determinar a quantidade de N a aplicar durante o período de crescimento, quando se espera doses mais adequadas e utilização mais eficiente do N aplicado.

A Tabela 10-3 mostra que a eficiência no uso de N foi aumentada 10 vezes pela adubação com K em um solo deficiente nesse nutriente no Leste de Java. Apesar das produtividades de milho serem baixas, os dados ilustram a importância de uma adubação balanceada no aumento da produção e na proteção do ambiente. Onde a fertilidade do solo em relação a P, K e outros nutrientes constitui-se em fator limitante, a adubação balanceada pode aumentar as produtividades e contribuir para a proteção ambiental. Isto é verdadeiro para todas as culturas... arroz, soja, hortaliças, algodão, café, etc.

Por exemplo, a Figura 10-6 ilustra a importância da adubação balanceada na produtividade de várias culturas no Paquistão. Lembre-se, à medida que as produtividades aumentam, mais N é removido do solo, resultando em menor potencial para a lixiviação de N-NO₃ para o lençol freático.

Tabela 10-3. O potássio aumenta a produtividade do milho e melhora a eficiência no uso do nitrogênio.

Dose de fertilizante, kg/ha			Produtividade t/ha	N do fertilizante	
N	P ₂ O ₅	K ₂ O		Removido ¹	Deixado no solo
100	50	0	0,4	6	94
100	50	50	4,1	61	39
100	50	100	4,2	63	37

¹ Grãos somente; não inclui N nos colmos e raízes.
Indonésia

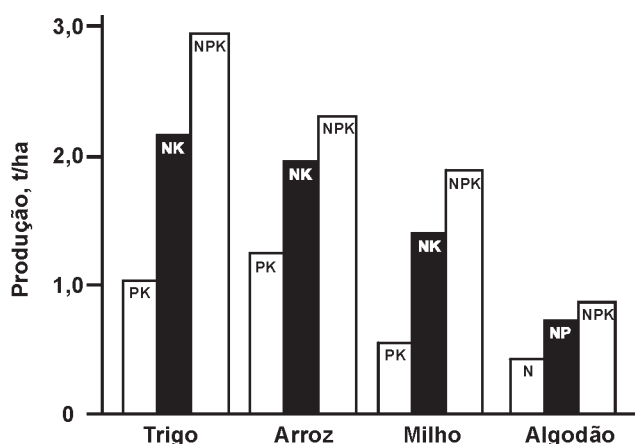


Figura 10-6. Efeito da adubação balanceada na produção das culturas (Paquistão).

3. Siga um plano de conservação. As MPM para conservação do solo e da água são específicas para cada local. Elas incluem: preparo conservacionista, terraceamento, faixas de culturas em nível, escoadouros de água gramados, plantio de gramíneas em nível, rotação de culturas e plantas de cobertura, controle de microbacias hidrográficas e escoadouros.

Um bom plano de conservação do solo e da água para cada propriedade pode ser o fator mais importante para diminuir a erosão e as perdas potenciais de solo, de água, e de nutrientes... especialmente P retido nos sedimentos e partículas orgânicas.

Alguns tipos de preparo conservacionista podem ser praticados em quase todos os tipos de sistemas de produção. A Tabela 10-4 mostra os efeitos positivos do preparo conservacionista na diminuição do escoamento superficial da água, dos sedimentos associados e das perdas de P. Diminuição do escoamento superficial representa maior infiltração de água e mais água disponível para a cultura em crescimento. Perdas totais de P são enormemente reduzidas por menores perdas de sedimentos.

Tabela 10-4. O preparo conservacionista reduz o volume do escoamento superficial e as perdas de sedimentos e de P.

Tipo de preparo	Volume de escoamento superficial	Sedimentos	Perda total de P
	(L/ha)	---- (kg/ha) ----	
Convencional (aração e gradagem)	285.000	155	0,18
Plantio direto	47.000	41	0,01

Maryland, EUA

4. Adote as MPM de todos os insumos controláveis para alcançar maiores produtividades.

Solos bem adubados, juntamente com outras boas práticas de manejo, levam a maiores produtividades das culturas. Altas produtividades, com o associado aumento nos resíduos das culturas, têm um tremendo efeito positivo na redução do escoamento superficial da água e das perdas causadas por erosão hídrica e eólica. Sempre que for prático, os resíduos das culturas devem ser deixados na superfície do solo para proteção contra erosão eólica e hídrica.

Altos níveis de fertilidade do solo apresentam muitos benefícios:

- Um fechamento mais rápido da cobertura vegetal é resultado de melhor nutrição das plantas. Isto reduz a energia erosiva das gotas de chuva, aumenta a eficiência no uso da umidade e reduz a pressão de plantas invasoras. A disponibilidade de P nos estágios iniciais de crescimento é especialmente importante para formação rápida da cobertura vegetal.
- O crescimento vigoroso das plantas, tanto da parte aérea como das raízes, ajuda a manter o solo no seu lugar, aumenta a infiltração de água e a sua eficiência de uso e também aumenta a produtividade. A Tabela 10-5 mostra um exemplo dos efeitos do bom manejo da fertilidade na produtividade do milho e na eficiência de uso da água.

Tabela 10-5. Efeito da adubação balanceada na produtividade do milho e eficiência no uso da água.

Nível de eficiência da fertilidade	Produtividade t/ha	kg grãos/cm água
Baixo	4,8	75
Médio	9,3	148
Alto	15,0	237

* 63,5 cm de água.

Flórida, EUA

5. Planos de aplicação do fertilizante (época). A eficiência da adubação e o potencial produtivo aumentam quando as aplicações são feitas próximas à época de maior absorção pela cultura. Considere fazer as aplicações nos estádios de crescimento que correspondem à maior demanda de uso de nutrientes pela cultura. Em alguns solos de textura grosseira (arenosos), aplicações parceladas de K, S e alguns micronutrientes podem também ser uma MPM porque o potencial de produção é aumentado e a proteção ambiental é melhorada pelo uso mais eficiente de outros insumos.

A Figura 10-7 mostra que a adubação balanceada, juntamente com aplicações em épocas adequadas, aumentou a produção de bananas para exportação por hectare por ano. Deve-se lembrar que alguma perda de nutrientes vai ocorrer independente do número de aplicações feita. Entretanto, os fertilizantes não necessariamente aumentam as perdas. Na verdade, quando se segue o princípio da adubação balanceada, a eficiência de absorção das plantas aumenta e as perdas de nutrientes são, em geral, reduzidas, aumentando os ganhos do agricultor e protegendo o ambiente.

6. Inibidores da nitrificação. Estes inibidores retardam a conversão do N amoniacal ($N-NH_4$) em N nítrico ($N-NO_3$). Quando utilizados com doses adequadas de fertilizantes nitrogenados comerciais ou esterco, eles podem aumentar a absorção de N pela cultura. Os inibidores mantêm o N no solo na forma de amônio estável, que não está sujeita à lixiviação ou outras formas de perdas. O amônio permanece na zona de proliferação das raízes e, conseqüentemente, está disponível para a absorção das culturas, mesmo sob condições de encharcamento do solo que movimenta o $N-NO_3$ para maiores profundidades do solo e fora do alcance das raízes das plantas. Pesquisas mostram que o milho, o trigo, o algodão, o sorgo granífero e várias outras culturas usam prontamente o amônio e tendem a absorver mais N total quando o amônio está disponível junto com o $N-NO_3$.

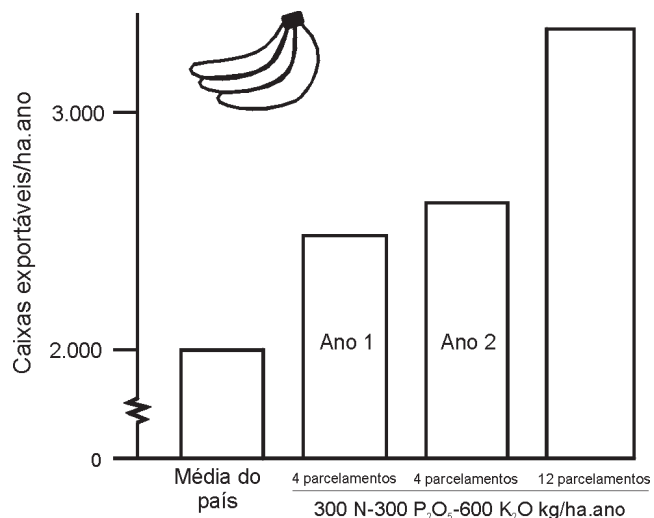


Figura 10-7. Adubação balanceada em época adequada aumenta a produção de bananas para exportação (Costa Rica).

O uso de inibidores da nitrificação e outras técnicas de estabilização do N são MPM e devem ser consideradas se esses produtos e tecnologia estão disponíveis em uma dada área.

Estudos sobre inibidores da nitrificação e outros estabilizantes nos EUA mostraram reduções na lixiviação de $N-NO_3$ da ordem de 8 a 27%. Além dos benefícios ambientais, os inibidores da nitrificação aumentam o potencial de produção e o uso eficiente das aplicações de N, um benefício econômico.

7. Planos de localização dos fertilizantes. Altas produtividades das culturas não dependem apenas das doses de fertilizantes e dos métodos de aplicação, mas também da localização adequada. A localização adequada dos adubos melhora a disponibilidade de nutrientes para as plantas, o que significa altas produtividades e maior eficiência nutricional. "Arranque", sulco, faixa ou gotejamento, injeção profunda e faca, são apenas alguns dos termos usados para designar vários métodos de aplicação de fertilizantes.

Respostas na fase inicial de crescimento para aplicações de fertilizantes em faixas ou sulcos são freqüentemente observadas, especialmente de fósforo. As respostas são mais freqüentes em climas frios ou quando as culturas são plantadas em solos mais frios. Estes tipos de respostas são freqüentemente observadas em solos com altos teores de P.

De maneira geral, a localização adequada tem as vantagens de:

- Possível atraso das reações dos fertilizantes contendo P e K com o solo, por causa do menor contato solo-fertilizante.
- Localização mais profunda dos nutrientes no solo onde a umidade para a absorção é menos limitante.
- Menor reação do P com os componentes do solo em função de maiores concentrações de N amoniacal na zona do solo propícia à retenção de P (quando N amoniacal e P são aplicados juntos).
- Absorção forçada de N amoniacal causando uma condição mais ácida na superfície das raízes, o que favorece a absorção de P.

RESUMO

Como análise final, o uso de doses adequadas de nutrientes de plantas para atingir ótimas produtividades e lucratividade é a chave para a proteção ambiental. As MPM desenvolvidas pela pesquisa, modificadas e adotadas para condições específicas da propriedade agrícola, são importantes tanto para o uso eficiente de nutrientes como para a proteção de nossos recursos de solo e de água. ■

CAPÍTULO 10

NUTRIENTES DE PLANTAS E O AMBIENTE

PERGUNTAS DE REVISÃO

1. (C ou E) O uso de doses adequadas dos nutrientes essenciais para as plantas melhora nosso ambiente.
2. Os dois nutrientes mais comumente associados com a poluição ambiental são: _____ e _____.
3. A forma de N geralmente mais associada com o lençol freático e perdas por lixiviação é _____.
4. (C ou E) O íon nitrato tem uma carga negativa.
5. Todas as fontes de N sofrem transformações no solo. Estes processos são parte do _____.
6. (C ou E) O nitrogênio do esterco animal e das leguminosas não é sujeito a perdas por lixiviação.
7. (C ou E) Fontes de N orgânico geralmente deixam maiores níveis de $N-NO_3$ no solo porque elas são difíceis de manejar.
8. (C ou E) Boas práticas culturais podem, em grande parte, controlar as perdas de N dos solos agrícolas.
9. (C ou E) O fósforo é praticamente imóvel no solo.
10. (C ou E) Adições de P nos depósitos de água (represas, lagos, etc.) são, na maior parte, provocadas pela erosão.
11. A resposta desses depósitos de água aos excessos de nutrientes é conhecida como _____.
12. (C ou E) O potássio não é associado a problemas ambientais.
13. (C ou E) O potássio exerce um papel positivo no ambiente porque ajuda a aumentar a eficiência no uso de N e P.
14. (C ou E) O cloro, que é aplicado nas culturas como KCl, apresenta efeitos negativos sobre a qualidade da água e a saúde humana.
15. As MPM incluem manejo das culturas associado com _____, _____ e _____.
16. (C ou E) As MPM são específicas para cada local.
17. As MPM (aumentam, diminuem) a eficiência dos nutrientes para as plantas.
18. (C ou E) A recomendação de fertilizantes pelas MPM significa que tanto a produtividade ótima econômica quanto o mínimo impacto ambiental serão atingidos.
19. O uso das MPM (aumenta, diminui) os custos por unidade de produção.
20. Quase todo o $N-NO_3$ lixiviado durante os meses de inverno vem da mineralização da _____.
21. Quando as doses de N excedem àquelas para MPM e produtividades ótimas econômicas, o potencial de lixiviação do $N-NO_3$ (aumenta, diminui).
22. As duas melhores ferramentas de diagnose para determinar a quantidade e disponibilidade de nutrientes para as plantas são a _____ e a _____.
23. (C ou E) A análise de solo para determinação do teor de nitrato e o teste de tecidos estão sendo mais amplamente utilizados.

24. Liste cinco MPM para conservação do solo e da água:

25. (C ou E) Maiores produtividades e o aumento associado de resíduos de culturas têm um tremendo efeito positivo no controle do escoamento superficial de água e na redução da erosão hídrica e eólica do solo e nutrientes.

26. (C ou E) A eficiência no uso de nutrientes aumenta quando o N do fertilizante é aplicado próximo à época de maior absorção pelas culturas.

27. Inibidores da nitrificação retardam a conversão de _____ em _____.

28. A localização dos fertilizantes é uma importante ferramenta de manejo tanto sob aspectos agrônômicos como do ambiente. Liste quatro maneiras de localização de fertilizantes que podem ser importantes num sistema de produção aumentando a eficiência de uso e controlando o impacto ambiental:

GLOSSÁRIO

ABSORÇÃO - Processo pelo qual uma substância penetra e é incluída dentro de outra substância, isto é, absorção de gases, água, nutrientes, ou outras substâncias, pelas plantas.

ABSORÇÃO DE NUTRIENTES - Processo de absorção de nutrientes pelas plantas, usualmente através das raízes. Pequenas quantidades de nutrientes podem ser absorvidas através das folhas pelo uso da adubação foliar.

ACIDEZ ATIVA - Atividade do íon de hidrogênio na fase aquosa de um solo. Ela é medida e expressa como um valor de pH.

ACIDEZ POTENCIAL OU DE RESERVA - Quantidade de íons trocáveis de hidrogênio no solo que pode ser liberada para a solução do solo, por troca de cátions. Os íons de hidrogênio trocáveis retidos nos colóides do solo são chamados de acidez potencial ou de reserva. Esse tipo de acidez está em equilíbrio dinâmico com íons de hidrogênio na solução do solo (acidez ativa). Cálculos conservadores sugerem que a acidez potencial ou de reserva pode ser 1.000 a 100.000 vezes maior que a acidez ativa em um solo argiloso.

ACIDEZ RESIDUAL - Acidez final que é desenvolvida em decorrência do uso de fertilizantes em um horizonte específico do solo, após os sais residuais terem sido removidos desse horizonte específico pela lixiviação.

ÁCIDO - Uma substância que libera íons de hidrogênio; uma condição em que a atividade do íon hidrogênio excede a da hidroxila.

ADESÃO - Atração molecular entre superfícies que mantém as substâncias juntas. A água adere às partículas do solo.

ADSORÇÃO - Retenção de uma substância por uma superfície de um sólido ou de um líquido.

ADSORÇÃO ELETROSTÁTICA - Adsorção causada pela atração elétrica de íons por uma superfície com carga.

ADUBAÇÃO A DOSES VARIÁVEIS - É a técnica que muda as doses de fertilizantes de acordo com as mudanças nos níveis de nutrientes disponíveis no solo, à medida que o mecanismo aplicador é movimentado pela área.

ADUBAÇÃO A LANÇO - Aplicação de fertilizantes sólidos ou fluidos, ou outro material, na superfície do solo, com ou sem incorporação subsequente por práticas de preparo do solo. Não implica em localização específica em relação às plantas. Os nutrientes podem ser aplicados antes ou após o plantio da cultura.

ADUBAÇÃO DE ARRANQUE - Aplicação do fertilizante no plantio, seja em contato direto com a semente ou ao lado e abaixo da semente.

ADUBAÇÃO EM COBERTURA - Aplicação superficial de fertilizante no solo após o estabelecimento da cultura.

ADUBAÇÃO EM FAIXAS - É a forma de adubação que envolve a aplicação de fertilizantes sólidos ou fluidos em faixas de largura variável, tanto na superfície como na subsuperfície do solo.

ADUBAÇÃO EM FAIXAS LATERAIS - Aplicação do fertilizante em faixa de um lado ou em ambos os lados da cultura.

ADUBAÇÃO EM PRÉ-PLANTIO - Fertilizante aplicado ao solo antes do plantio.

ADUBAÇÃO EM SULCO - Colocação do fertilizante em uma zona concentrada seja na superfície do solo ou abaixo dela.

ADUBAÇÃO EM SULCOS PROFUNDOS - Refere-se à aplicação de nutrientes em pré-plantio a uma profundidade de 5 a 15 cm abaixo da superfície do solo. Algumas aplicações são feitas até a profundidade de 38 cm. Os nutrientes aplicados podem estar na forma sólida, líquida ou gasosa.

ADUBAÇÃO LATERAL - Aplicação do fertilizante ao lado da linha da cultura, após a emergência da planta.

ADUBAÇÃO PARCELADA - Fertilizante aplicado em duas ou mais vezes durante o período de crescimento da cultura. Uma adubação em pré-plantio e uma ou mais aplicações pós-plantio são comuns.

ADUBO VERDE - Plantas cultivadas para serem incorporadas ao solo e aumentar sua fertilidade.

AERAÇÃO - Processo pelo qual o ar do solo é substituído pelo ar da atmosfera. A taxa de aeração depende grandemente do volume e continuidade de poros dentro do solo.

AERAÇÃO DO SOLO - Processo pelo qual o ar do solo é substituído pelo ar da atmosfera.

AGREGADO - Partículas individuais de areia, silte e argila mantidas juntas em uma partícula maior. Os agregados podem ser esferas, blocos, placas, prismas ou colunas.

AGRICULTURA DE PRECISÃO - Manejo dos insumos, aplicações de pesticida, população de plantas e outras práticas do sistema produtivo de acordo com as mudanças das características e composição do solo.

ÁGUA DISPONÍVEL - A parte da água no solo que pode ser prontamente absorvida pelas raízes das plantas. Considerada por alguns como a água retida no solo contra uma pressão máxima de aproximadamente 15 bars.

ALCALINO - Contendo ou liberando um excesso de hidroxilas em relação a íons de hidrogênio.

AMONIFICAÇÃO - Processo bioquímico pelo qual o N amoniacal é liberado de compostos orgânicos contendo nitrogênio.

ANÁLISE DE SOLO - Análise química da composição do solo, usualmente com a finalidade de estimar a disponibilidade de nutrientes para as plantas mas, também, incluindo a determinação da acidez ou alcalinidade do solo e da condutividade elétrica.

AREIA - Partículas inorgânicas com tamanho variando de 2,0 mm a 0,05 mm de diâmetro.

ARGILA - Partículas cristalinas inorgânicas naturais que ocorrem em solos ou outras partes da crosta terrestre. Partículas de argila têm menos de 0,002 mm de diâmetro.

BACTÉRIA SIMBIÓTICA - Em agricultura, a definição usualmente trata de bactéria em nódulos que se desenvolvem nas raízes de leguminosas e que têm a habilidade de fixar nitrogênio (N_2) livre da atmosfera em formas que podem ser utilizadas pela planta hospedeira.

BASE - Substância que reage com íons H^+ ou libera íons hidroxila (OH^-); uma substância que neutraliza ácidos e eleva o pH.

BASE TROCÁVEL - Um cátion básico adsorvido a um colóide do solo, mas que pode ser substituído por hidrogênio ou outro cátion.

BORO (B) - Elemento essencial que pode estar envolvido no transporte de carboidratos. Essencial para o crescimento dos tubos polínicos e germinação dos grãos de pólen. Provavelmente é o micronutriente com deficiência mais generalizada.

CALCÁRIO - O termo calcário ou calcário agrícola é aplicado ao calcário moído que contém carbonato de cálcio e carbonato de magnésio, cal hidratada (hidróxido de cálcio) ou cal virgem (óxido de cálcio). O calcário é usado para diminuir a acidez do solo e fornecer cálcio e magnésio como nutrientes essenciais às plantas.

CÁLCIO (Ca) - Um nutriente essencial, um constituinte da parede celular das plantas; necessário para algumas enzimas. O cálcio age como regulador do metabolismo.

CAPACIDADE DE CAMPO - Porcentagem de água que permanece no solo após dois ou três dias de saturação e após praticamente cessar a drenagem livre. Não é uma quantidade exata.

CAPACIDADE DE TROCA DE ÂNIONS (CTA) - Soma do total de ânions que um solo pode adsorver.

CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (CTC) - Soma total dos cátions trocáveis que o solo pode adsorver.

CARBOIDRATO - Substância orgânica com a fórmula genérica $(CH_2O)_n$; por exemplo, açúcares e polissacarídeos.

CARBONATO - Um sedimento formado pela precipitação orgânica ou inorgânica de uma solução aquosa de carbonatos de cálcio, magnésio ou ferro, tais como calcário ou dolomita.

CÁTION - Um átomo, um grupo de átomos, ou compostos que são carregados de cargas elétricas positivas como resultado da perda de elétrons.

CELULOSE - O carboidrato mais abundante nas plantas.

CICLO DO CARBONO - Seqüência de transformações pela qual o dióxido de carbono é fixado nos organismos vivos pela fotossíntese ou quimiossíntese, liberado pela respiração e pela morte e decomposição dos organismos fixadores, usado por espécies heterotróficas e, por fim, retornando ao seu estado original.

CICLO DO NITROGÊNIO - As rotas seguidas pelo nitrogênio da atmosfera através dos solos, plantas, animais, homem, e volta à atmosfera.

CLORO (Cl) - Um nutriente essencial, necessário às plantas para as reações fotossintéticas envolvidas na evolução do oxigênio. Ele pode atuar na regulação osmótica.

COLOROFA - Pigmentos verdes; retém a luz para a fotossíntese nas plantas, algas e algumas bactérias.

CLOROSE - Uma condição anormal das plantas na qual as plantas verdes perdem a cor ou mudam para amarelo.

COBALTO (Co) - O cobalto é essencial para os animais e para a fixação de nitrogênio. Ele pode atuar na ativação de enzimas em outras plantas.

COBRE (Cu) - Um nutriente essencial, componente de várias enzimas nas plantas. Necessário para a formação de clorofila nas plantas.

COLÓIDE - Partículas orgânicas e inorgânicas menores que 0,001 mm em diâmetro. Os colóides apresentam uma grande área de superfície, geralmente muito reativa.

COMPLEXO DE TROCA - Todos os materiais (argila, húmus) que contribuem para a capacidade de troca do solo.

CORRETIVO DE SOLO - Substância adicionada ao solo para melhorar seu pH ou propriedades físicas; por exemplo, calcário, gesso, turfa.

COULTER INJECTION - Uso de um injetor estreito tipo coulter de alta pressão para colocar fertilizante fluido em uma faixa vertical desde a superfície do solo até a profundidade de penetração do injetor. É uma variação da aplicação de fertilizantes em sulco.

CULTIVO - Operação de preparo do solo para semear ou transplantar uma cultura, ou mais tarde para controle de plantas invasoras, ou para afogar a terra.

CULTIVO CONSERVACIONISTA - Qualquer sistema de preparo do solo que reduz perdas de solo e/ou água, em comparação com o preparo convencional (aração e gradagem), onde todos os resíduos são incorporados ao solo.

CULTIVO MÍNIMO - Sistema de preparo (cultivo) que reduz o número das operações mecanizadas a um mínimo necessário para criar a condição adequada para o plantio e germinação das sementes.

CULTURAS EM FAIXAS - Técnica que reduz a erosão do solo na qual faixas deixadas em pousio ou faixas de culturas são alternadas com faixas de cereais, gramíneas ou leguminosas para produção de feno.

CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA - Gráfico mostrando o teor de umidade do solo em relação à energia aplicada para remover a água (curva de liberação de umidade).

DENITRIFICAÇÃO - Redução bioquímica do nitrato (NO_3^-) ou nitrito (NO_2^-) para N gasoso, NO , ou N_2O . Ocorre sob condições deficientes em oxigênio.

DENSIDADE DO SOLO - Em solos, refere-se à massa seca (peso) do solo por unidade de volume.

DESORÇÃO - Liberação de um íon ou molécula de uma superfície. O oposto de adsorção.

DIAGNOSE FOLIAR - Estimativa do estado nutricional de uma planta ou das necessidades de nutrientes do solo para a produção de uma cultura, através de análises químicas e/ou manifestações visuais das folhas das plantas.

DIFUSÃO - Movimento molecular ao longo de um gradiente. A difusão da água ocorre de áreas encharcadas para áreas secas. A difusão de gás e soluto ocorre da zona de alta concentração para zonas de baixa concentração.

DISPERSO - Quebra de partículas compostas, tais como agregados, em partículas componentes individuais, ou distribuição ou suspensão de partículas finas, tais como argila, em ou por um meio disperso, como a água.

DISPONIBILIDADE (DE NUTRIENTES) - Suprimento adequado, liberdade, facilidade de liberação, mobilidade. Um termo geral, freqüentemente usado na descrição de formas de nutrientes absorvidos pelas plantas.

DOLOMITA - Mineral formado por carbonatos de cálcio e magnésio; termo aplicado a calcário que contém algum magnésio.

DUAL PLACEMENT - Aplicação simultânea de dois fertilizantes em faixas subsuperficiais.

EFICIÊNCIA NO USO DO FERTILIZANTE - Uma expressão de unidades de produção por unidade de nutriente fornecido à cultura. Expressões comuns incluem kg de produção por kg do nutriente aplicado; t de produção por kg de nutriente, etc.

ELEMENTO - Qualquer substância que não pode ser mais separada, exceto por desintegração nuclear.

ELEMENTOS TRAÇOS - Outro termo para micronutrientes.

ELÉTRONS - Partículas pequenas, carregadas negativamente, e que são parte da estrutura do átomo.

ENXOFRE (S) - Nutriente secundário essencial para as plantas. É essencial na formação das proteínas pois é parte de certos aminoácidos. Como parte das proteínas é essencial para a atividade das enzimas. Está envolvido na formação dos nódulos e na fixação de nitrogênio em leguminosas. É essencial para a formação da clorofila sem, entretanto, ser parte da molécula da clorofila.

ENZIMAS - Catalisadores que dirigem e controlam as reações bioquímicas das células.

EQUILÍBRIO - Condição de uma reação química ou de um ecossistema completo no qual ocorrem somente pequenas mudanças com o decorrer do tempo.

EQUIVALENTE - O peso em gramas de um íon ou composto que combina ou substitui 1 grama de hidrogênio. O peso atômico ou da fórmula dividido por sua valência.

EROSÃO - Arrastamento da superfície do solo por escorrimento da água, vento, gelo e outros agentes geológicos. A erosão acelerada é causada por erosão eólica (pelos ventos) ou erosão hídrica (pelas águas) em taxas mais aceleradas do que aquelas normais ou causadas por agentes geológicos e, em geral, associadas com a atividade humana.

ESCORRIMENTO SUPERFICIAL - Água que escorre pela superfície do solo ao invés de infiltrar.

ESTABILIZADOR DE NITROGÊNIO - Um composto que retarda o processo de oxidação do nitrogênio no solo pela inibição das bactérias *Nitrosomonas* – os organismos que oxidam nitrogênio amoniacal em nitrito. Como consequência, a produção de nitrato é também diminuída e a lixiviação de nitrato e a desnitrificação são reduzidas. Veja inibidores da nitrificação.

ESTRUTURA - No solo, refere-se ao arranjo das partículas primárias em unidades secundárias ou “peds” com forma e tamanho particulares.

EUTROFIZAÇÃO - Crescimento abundante de plantas aquáticas que leva a condições de deficiência de oxigênio em lagos ou cursos d’água e que é acelerado pelo enriquecimento de nutrientes.

EVAPORAÇÃO - Perdas de vapor do solo ou água livre, diretamente para a atmosfera.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO - Perdas de água do solo por evaporação mais transpiração.

EXIGÊNCIA DO FERTILIZANTE - Quantidade de certo elemento nutriente de plantas, além da quantidade fornecida pelo solo, necessária para aumentar o crescimento destas a um nível ótimo.

FERRO (Fe) - Micronutriente metálico essencial, absorvido pelas plantas como íon ferroso (Fe^{++}). O ferro é um catalisador na formação da clorofila e atua como carregador de oxigênio. Ele também ajuda a formar certas enzimas que atuam no sistema respiratório das plantas.

FERTILIDADE DO SOLO - O “status” de um solo no que diz respeito à quantidade e disponibilidade de elementos (nutrientes) necessários ao crescimento das plantas.

FERTILIDADE RESIDUAL - Teor de nutriente disponível, de um solo, transferido para a próxima cultura após a adubação da cultura anterior.

FERTILIZANTE - Qualquer material natural ou manufaturado adicionado ao solo com a finalidade de suprir um ou mais nutrientes das plantas. O termo é geralmente aplicado para designar material manufaturado, à exceção de calcário e gesso.

FERTILIZANTE EM SUSPENSÃO - Um fluido contendo compostos nutrientes de plantas dissolvidos ou não dissolvidos. As suspensões com materiais não dissolvidos são usualmente produzidas com auxílio de um agente de suspensão sem propriedades fertilizantes (argila). Agitação mecânica ou ar podem ser necessários para facilitar a formação de uma suspensão uniforme do nutriente não dissolvido.

FERTILIZANTE ORGÂNICO - Material orgânico que libera ou supre quantidades utilizáveis de um nutriente de plantas quando adicionado ao solo.

FERTILIZANTE “POP-UP” - Fertilizante aplicado no plantio em contato direto com a semente. Uma forma de adubação de arranque.

FERTILIZANTES FLUIDOS (líquidos) - Este termo se aplica à amônia anidra, aqua amônia, soluções nitrogenadas e misturas de fertilizantes líquidos incluindo líquidos límpidos e suspensões de sólidos em líquidos.

FERTIRRIGAÇÃO - Aplicação de fertilizantes na água de irrigação.

FIXAÇÃO - Processos pelos quais nutrientes disponíveis para as plantas tornam-se não disponíveis por reação com componentes do solo. Em geral, refere-se a reações do fósforo, amônio e potássio que conduzem a menor disponibilidade.

FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO - Redução e assimilação do N_2 – uma capacidade de certas bactérias de vida livre e simbióticas.

FIXAÇÃO DE NITROGÊNIO - Conversão do nitrogênio atmosférico elementar (N_2) em formas orgânicas e inorgânicas. Especificamente em solos, a fixação refere-se à assimilação de N_2 do ar do solo por organismos do solo na formação de compostos de nitrogênio que são disponíveis para as plantas. O processo de fixação de nitrogênio associado com nódulos radiculares em leguminosas é conhecido como fixação simbiótica de nitrogênio.

FLOCULAÇÃO - Ajuntamento de partículas coloidais para formar flóculos.

FLOTATION APPLICATION - Um tipo de equipamento para aplicar fertilizantes, provido de pneus largos com baixa pressão, com a finalidade de distribuir o peso do veículo em uma maior área do solo, diminuindo a compactação.

FLUXO DE MASSA - Movimento de fluido em resposta à pressão. Movimento de calor, gases ou solutos juntamente com o fluxo de fluidos no qual são contidos.

FORÇAS CAPILARES - Forças entre a água e as superfícies do solo nos poros pequenos (capilares).

FOSFATO - Sal de um éster do ácido fosfórico. Na indústria de fertilizantes, entretanto, o termo fosfato é usualmente aplicado a qualquer material usado como fertilizante que contenha fósforo. Também usado em referência a P_2O_5 , uma expressão do teor de fósforo dos fertilizantes.

FOSFATO DE ROCHA - Rocha natural contendo um ou mais minerais de fosfato de cálcio com pureza e quantidade suficientes para permitir o seu uso, seja diretamente ou após concentração, na fabricação de produtos comerciais. A maioria dos depósitos de rocha fosfática, utilizados na fabricação de fertilizantes fosfatados nos EUA e no Canadá, constitui-se em minerais da classe das apatitas, principalmente fosfato de cálcio.

FÓSFORO (P) - Um dos nutrientes essenciais requerido pelas plantas e classificado como um dos três macronutrientes. O fósforo é um nutriente de plantas móvel e exerce funções-chave na fotossíntese, respiração (utilização de açúcares), armazenamento e transferência de energia, divisão celular, crescimento celular, código genético e vários outros processos nas plantas.

FOTOSSÍNTESE - Processo pelo qual as plantas verdes capturam a energia luminosa, combinando água e dióxido de carbono para formar os carboidratos. O pigmento clorofila é requerido para a conversão da energia luminosa em energia química.

GARANTIA DO FERTILIZANTE - Garantia mínima da análise, em porcentagem, dos principais nutrientes de plantas contidos em um material fertilizante ou em misturas de fertilizantes.

GESSO - Mineral ou rocha composta de sulfato de cálcio ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$).

GLUCOSE - Um açúcar comum com seis átomos de carbono por molécula. Presente em todas as células. Um constituinte da celulose, do amido e de outros polissacarídeos.

HIDRATADA - Que possui água retida ou incorporada como parte de uma estrutura química.

HIDROXILA - Íon ou grupo OH.

HORIZONTE DO SOLO - Uma camada do solo aproximadamente paralela à superfície da terra.

HÚMUS - A fração da matéria orgânica do solo que permanece estável e escura após a maior parte dos resíduos animais e vegetais sofrer decomposição.

IMOBILIZAÇÃO - Conversão de elementos de uma forma inorgânica em orgânica por sua incorporação em microrganismos ou tecido vegetal, tornando-os menos disponíveis para as plantas.

INCORPORAÇÃO - Mistura mecânica do material fertilizante (ou herbicida) com a superfície do solo.

ÍNDICE SALINO - Um índice usado para comparar a solubilidade dos compostos químicos usados como fertilizantes. A maioria dos compostos contendo N e K tem altos índices e compostos com P tem baixos índices. Compostos com altos índices salinos, aplicados em contato direto com as sementes, em doses elevadas, podem causar danos às sementes pela alta afinidade por água que apresentam.

INFILTRAÇÃO - Entrada de água no solo.

INIBIDORES DE NITRIFICAÇÃO - Compostos tais como nitrapirina (N-serve) e dicianíamida (DCD) que atrasam a oxidação bacteriana do íon amônio para nitrato e, conseqüentemente, retardam a produção de nitrato. O objetivo do uso desses compostos é controlar a lixiviação de nitratos, mantendo o nitrogênio por mais tempo na forma de amônio, e fornecer, por mais tempo, N amoniacal para as plantas.

INJEÇÃO - Colocação de fertilizante fluido ou amônia anidra no solo seja pelo uso de sistemas pressurizados ou não.

INJEÇÃO POR PONTO - Feita por multi-injetores espaçados em uma roda de modo a aplicar fertilizante fluido na zona de raízes (10-15 cm) e a cada 20 cm de distância.

ÍONS TROCÁVEIS - Íons retidos por atração elétrica às superfícies com carga; podem ser deslocados por troca com outros íons.

KNIFED APPLICATION - Processo pelo qual o fertilizante é colocado no solo através de um tipo de instrumento cortante.

LENÇOL FREÁTICO - O limite superior da água subterrânea ou aquele nível abaixo do qual o solo é saturado com água.

LIXIVIAÇÃO - Remoção de materiais em solução pela passagem da água através do solo. Em agricultura, lixiviação refere-se ao movimento, para baixo, da água livre (percolação), para fora da zona de desenvolvimento de raízes.

LOCALIZAÇÃO DO FERTILIZANTE - Concentração do fertilizante em faixa ou sulco, em um local específico da superfície do solo ou abaixo dessa. Exemplos: de arranque, em faixa superficial, em faixa profunda.

MACRONUTRIENTES - Nutrientes essenciais para as plantas que são necessários em maiores proporções.

MACROPOROS - Poros grandes, geralmente formados pelas raízes, pequenos animais do solo e minhocas.

MAGNÉSIO (Mg) - Nutriente essencial classificado como secundário, juntamente com o cálcio e o enxofre. Ele é um constituinte da clorofila e está envolvido ativamente na fotossíntese. O magnésio ajuda no metabolismo do fósforo, utilização de açúcares pelas plantas e também na ativação de vários sistemas enzimáticos.

MANEJO DE NUTRIENTES - Utilização das melhores práticas de manejo (MPM), o que maximiza a eficiência de uso de nutrientes e minimiza as perdas de nutrientes para o lençol freático.

MANGANÊS (Mn) - Micronutriente metálico que funciona, primeiramente, como parte do sistema enzimático das plantas. Ele ativa várias reações metabólicas e tem função direta na fotossíntese, ajudando na síntese da clorofila.

MATERIAL CALCÁRIO - Material calcário agrícola significa um produto cujos compostos de cálcio e magnésio são capazes de neutralizar a acidez do solo.

MATERIAL DE ORIGEM - O material não consolidado, mineral ou orgânico, do qual o solo é formado.

MATRIZ DO SOLO - Como "soil fabric", a combinação da parte sólida e poros no solo.

MELHORADOR DO SOLO - Qualquer material como calcário, gesso, serragem, ou condicionador sintético, que é incorporado ao solo para torná-lo adequado ao crescimento das plantas. O termo refere-se, comumente, a outros materiais utilizados, diferentes daqueles usados como fertilizantes.

MICRONUTRIENTES - Nutrientes que as plantas necessitam em somente pequenas quantidades. Os micronutrientes essenciais são boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco.

MICROORGANISMOS DO SOLO - Bactérias, fungos e outros organismos que reciclam nutrientes e aumentam sua disponibilidade. Organismos patogênicos podem ter impacto negativo nas plantas.

MINERALIZAÇÃO - Liberação de um elemento da forma orgânica que o contém. Esses processos são levados a efeito por microrganismos do solo.

MICORRIZA - A associação, usualmente simbiótica, de fungos com as raízes das plantas. As hifas dos fungos aumentam a área das raízes e a absorção de nutrientes.

MOLIBDÊNIO (Mo) - Micronutriente metálico requerido em menores quantidades em comparação aos outros nutrientes. O molibdênio é necessário para a síntese e a atividade da enzima redutase de nitrato. É também vital para o processo de fixação simbiótica de nitrogênio por bactérias do gênero *Rhizobium* nos nódulos das raízes de leguminosas.

MULCH (cobertura morta) - Qualquer material distribuído na superfície do solo para proteção do impacto das gotas de chuva, do sol, do congelamento ou evaporação.

NECESSIDADE DE CALCÁRIO - É a quantidade de um bom calcário agrícola necessária para atingir a faixa de pH desejada no sistema de produção adotado. A necessidade de calcário é determinada em laboratório. No Brasil, existem três métodos de avaliação da necessidade de calcário: 1) SMP; 2) Al e Ca + Mg trocáveis; 3) Saturação por bases.

NECROSE - Morte de uma parte ou partes do tecido.

NITRIFICAÇÃO - Formação de nitrito e nitrato em solos a partir de íons amônio, através da atividade de certas bactérias; a oxidação bioquímica de amônio a nitrato.

NITROBACTER - Um gênero de bactérias do solo, aeróbico obrigatório, quimio-autotrófico que oxida os íons nitrito a nitrato no estágio final do processo de nitrificação.

NITROGÊNIO (N) - Um nutriente essencial, constituinte de toda célula viva, planta ou animal. Nas plantas ele é parte da molécula da clorofila, de aminoácidos, de proteínas e de vários outros compostos; um dos três macronutrientes.

NITROSOMONAS - Um gênero de bactérias do solo, aeróbico obrigatório, quimio-autotrófico, que oxida íons amônio a nitrito durante o primeiro estágio do processo de nitrificação. Inibidores da nitrificação, tais como a nitrapirina, especialmente inibem a atividade desses organismos.

NUTRIENTE - Elemento que contribui para o crescimento e a saúde de um organismo e é essencial para que este complete o seu ciclo de vida.

NUTRIENTE ESSENCIAL - Um elemento necessário para que uma planta complete seu ciclo de vida.

NUTRIENTES MÓVEIS - Aqueles nutrientes que podem ser translocados dos tecidos mais velhos para os mais jovens na planta.

NUTRIENTES SECUNDÁRIOS - Cálcio, magnésio e enxofre são chamados nutrientes secundários porque eles são essenciais para o crescimento das plantas, mas menos freqüentemente deficientes do que os macronutrientes.

ORTOFOSFATO - Uma classe geral de compostos de fosfato fabricados a partir do ácido ortofosfórico (H_3PO_4), incluindo principalmente sais de amônio e cálcio.

OXIDAÇÃO - Mudança química envolvendo adição de oxigênio ou seu equivalente químico. Ela inclui a perda de elétrons de um átomo, íon, ou molécula durante uma reação química. Ela pode aumentar a carga positiva de um elemento ou composto.

OXIGÊNIO - Um gás sem cor, sem sabor, sem cheiro (O_2); o elemento mais abundante e mais amplamente distribuído na natureza. Compreende cerca de 21% do volume do ar.

PERCOLAÇÃO - Movimento de um fluido para baixo no solo.

PERFIL DO SOLO - Seção vertical de um solo que se estende da superfície por todos os horizontes e dentro do material de origem.

PERMEABILIDADE - Facilidade pela qual um meio poroso transmite os fluidos.

pH - Designação numérica de acidez e alcalinidade. Tecnicamente, pH é o logaritmo comum da recíproca da concentração do íon hidrogênio de uma solução. Um pH 7 indica neutralidade; valores entre 7 e 14 indicam aumento da alcalinidade; valores entre 7 e 0 indicam aumento de acidez.

PLANTIO DIRETO (PLANTIO NA PALHA) - Sistema de produção agrícola no qual a cultura é plantada sobre o resíduo de uma cultura prévia sem o preparo do solo (aração, gradagem, etc.).

PODER TAMPÃO - Processos que limitam ou reduzem as mudanças no pH quando se adicionam ácidos ou bases. De maneira geral, processos que limitam mudanças na concentração em dissolução de qualquer íon quando ele é adicionado ou removido do sistema.

POLIFOSFATO - Uma classe geral de compostos fosfatados caracterizados por moléculas contendo dois ou mais átomos de fósforo. Polifosfatos compreendem duas ou mais moléculas de ortofosfatos com a perda de uma molécula d'água entre cada unidade de ortofosfato. Produzidos do ácido superfosfórico, disponíveis principalmente nos fertilizantes fluidos como polifosfatos de amônio.

PONTO DE MURCHA PERMANENTE - É o nível de umidade de um solo no qual as plantas murchas não conseguem recuperar a turgidez. Este valor não é constante.

PORCENTAGEM DE SATURAÇÃO POR BASES - Extensão pela qual o complexo sortivo de um solo está saturado com cátions trocáveis que não sejam o hidrogênio. É expressa como a porcentagem da capacidade total de troca de cátions.

PORCENTAGEM DE SÓDIO TROCÁVEL - Grau de saturação com sódio do complexo de troca do solo.

POROS - Espaço não ocupado por partículas sólidas no volume total do solo.

POTÁSSIO (K) - Nutriente essencial, um dos três macronutrientes incluindo nitrogênio e fósforo. É exigido pela maior parte das plantas em quantidades semelhantes ao nitrogênio. O potássio tem funções importantes na ativação de sistemas enzimáticos, é vital para a fotossíntese e para a formação e utilização de açúcares; tem função essencial na síntese protéica, manutenção da estrutura da proteína e ajuda as plantas no uso mais eficiente da água.

PRECIPITAÇÃO EFETIVA - Aquela parte da precipitação total que torna-se disponível para o crescimento da planta.

PREPARO CONVENCIONAL - Sistemas convencionais de preparo do solo variam consideravelmente de região para região e com as culturas. O termo preparo convencional, originalmente, implicava no uso do arado de aiveca, gradagem e nivelamento da superfície do solo antes de semear. Atualmente, os sistemas de preparo convencional evoluíram para o uso de outros implementos, inclusive o uso do arado escarificador como o principal implemento de preparo.

PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL - Produção contínua, anual ou periódica, de plantas ou material de plantas (produtos) de uma área; implica em práticas de manejo as quais vão manter a capacidade produtiva da terra.

QUIMIGAÇÃO - Aplicação de fertilizantes e/ou pesticidas na água de irrigação para adubar as culturas ou controlar as pestes.

RELAÇÃO CARBONO-NITROGÊNIO - Relação entre peso de carbono orgânico e peso de N total em um solo ou no material orgânico. É obtida dividindo-se a porcentagem de C orgânico pela porcentagem total de N.

RHIZOBIA - Bactérias capazes de viver em simbiose com plantas superiores, usualmente leguminosas, das quais elas recebem a energia, e são capazes de utilizar o nitrogênio atmosférico.

ROCHA MATRIZ - Rocha sólida abaixo dos solos ou rocha intemperizada com profundidades variando de zero (exposta pela erosão) a vários metros.

SILTE - Qualquer partícula inorgânica com o tamanho variando de 0,05 mm a 0,002 mm de diâmetro.

SIMBIÓTICA - Relação de dois organismos vivos que beneficia a ambos, como a fixação de nitrogênio por *Rhizobium* em nódulos de raízes de leguminosas.

SOLO ÁCIDO - Solo contendo predominância de íons de hidrogênio na solução do solo (acidez ativa) e na superfície dos colóides do solo (acidez potencial ou de reserva). De modo específico, refere-se a um solo cujo pH é menor que 7,0.

SOLO ALCALINO - Qualquer solo com pH maior que 7,0.

SOLO ALCALI - Solo com um grau de alcalinidade (pH 8,5 ou maior) ou com teor elevado de sódio trocável (15% ou mais da capacidade de troca), ou ambos.

SOLO CALCÁRIO - Solo que contém calcário livre (carbonatos) que efervesce visivelmente quando tratado com ácido clorídrico diluído (1:10).

SOLO NEUTRO - Solo com a maior porcentagem (80 a 90%) da capacidade de troca ocupada por íons de cálcio e magnésio e com pH próximo a 7,0.

SOLO ORGÂNICO - Solo que contém alta porcentagem de matéria orgânica por todo ele.

SOLO SALINO - Solo não alcalino que contém sais solúveis em quantidade tal que interfere no crescimento da maioria das culturas; contendo uma quantidade apreciável de sais solúveis.

SOLO SALINO-ALCALI - Solo que contém alta proporção de sais solúveis tendo um alto grau de alcalinidade e/ou grande quantidade de sódio trocável, de modo que o crescimento da maioria das culturas é anormal.

SOLO SÓDICO - O termo sódico refere-se a um solo que foi afetado por altas concentrações de sais e sódio. Solos sódicos têm teores relativamente baixos de sais solúveis mas altos de sódio trocável.

SOLO SUPERFICIAL - Refere-se à camada superficial do solo, incluindo a maior parte da matéria orgânica do perfil do solo. Tecnicamente, essa camada é considerada o horizonte A, mais escuro, do perfil do solo.

SOLUÇÃO DO SOLO - A fase líquida do solo e seus solutos.

SOLUÇÕES NITROGENADAS - Soluções de fertilizantes nitrogenados em água. Soluções nitrogenadas são usadas na fabricação de fertilizantes mistos líquidos ou secos e/ou aplicados ao solo através de aplicadores especiais ou na água de irrigação. Mais comumente o termo refere-se a soluções de nitrato de amônio-uréia (URAN), produzidas com a mistura desses fertilizantes e contendo 28 a 32% de nitrogênio.

SOLUTO - Material dissolvido em um solvente para formar uma solução.

SUBSOLO - Camadas do solo abaixo da camada superficial que podem conter menos matéria orgânica e mais características do material de origem.

SULCO - Método de aplicação de fertilizantes. É um termo geral que implica em aplicações que concentram os fertilizantes em uma zona estreita que é mantida intacta para fornecer uma fonte concentrada de nutrientes. A aplicação pode ser feita antes, durante ou após o plantio.

SUPERFOSFATO TRIPLO - Refere-se a todos os tipos de superfosfato que contém 40% ou mais de P_2O_5 disponível e que são fabricados pela acidulação do fosfato de rocha com ácido fosfórico. O superfosfato simples contém teor apreciável de enxofre na forma de gesso; o superfosfato triplo não. O fósforo está presente principalmente como fosfato monocálcico.

SUPERFOSFATOS - Os superfosfatos são produtos obtidos quando fosfatos de rocha são tratados com ácido sulfúrico ou ácido fosfórico ou uma mistura desses ácidos. Superfosfato "normal", "comum" ou "simples" refere-se a todos os tipos contendo até 22% de P_2O_5 disponível e que são fabricados, comumente, por acidulação de fosfato de rocha com ácido sulfúrico. Os superfosfato simples contém fosfato monocálcico mais uma quantidade significativa de gesso.

TEXTURA DO SOLO - Proporção relativa dos vários tamanhos de partículas que constituem o solo. Essas partículas são freqüentemente chamadas de frações granulométricas e incluem areia, silte e argila, e variam em tamanho dentro de uma determinada amplitude.

TEXTURA FINA - Consistindo ou contendo grandes quantidades de pequenas partículas no solo. Refere-se a uma alta porcentagem de silte ou argila.

TILTH - Uma condição física do solo relativa à sua facilidade de preparo, adequação como leito para as sementes, e sua resistência à emergência das plântulas e penetração de raízes.

TRANSPIRAÇÃO - Evaporação pelas folhas; o fluxo de água através das plantas, partindo do solo para a atmosfera.

TROCA DE CÁTIONS - Troca entre um cátion na solução e outro cátion na superfície de um material como um colóide argiloso ou orgânico.

TROCA DE ÍONS - Troca entre um íon na solução e outro íon na superfície de qualquer material com superfície ativa, como argila e húmus.

UMIDADE DISPONÍVEL PARA AS PLANTAS - A água do solo retida fracamente de modo a permitir que as plantas a extraiam para seu uso.

USO CONSUMPTIVE - Água usada pelas plantas na transpiração e no crescimento, mais a perda do vapor d'água do solo ou neve adjacente ou da precipitação interceptada.

VOLUME DO SOLO - Volume incluindo os sólidos e os poros de uma massa arbitrária do solo.

WEED-AND-FEED - Um termo usado na química agrícola para descrever a mistura de fertilizante e herbicida para aplicação.

ZINCO (Zn) - Micronutriente metálico, um dos primeiros a serem reconhecidos como essenciais para as plantas. O zinco ajuda na síntese de substâncias de crescimento das plantas, atua no sistema enzimático e é essencial para a promoção de certas reações metabólicas. É necessário para a produção de clorofila e carboidratos.

ZONA DE DEPLEÇÃO - Região estreita próxima à raiz onde a concentração de nutrientes imóveis no solo torna-se marcadamente diminuída.

ZONA DE RETENÇÃO - Zona do solo onde os nutrientes são concentrados após a aplicação dos fertilizantes. Usualmente refere-se a algum tipo de aplicação em faixa.

ANEXOS

	Página
Anexo 1 – Conceitos básicos sobre acidez do solo e CTC	157
Anexo 2 – Qualidade dos corretivos de acidez do solo	161
Tabela 1A – Níveis de fertilidade para interpretação de análise de solos em uso nos laboratórios em Minas Gerais	163
Tabela 2A – Níveis de fertilidade para interpretação de análise de solos em uso nos laboratórios do Estado de São Paulo	164
Tabela 3A – Níveis de fertilidade para interpretação de análise de solos em uso nos laboratórios do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina	165
Tabela 4A – Fatores para conversão entre as unidades e representação dos macronutrientes primários e secundários.	166
Tabela 5A – Fatores multiplicativos de transformação dos resultados analíticos do solo, quando expressos em g/100 g (porcentagem), mg/100 g, mg/dm ³ e kg ou t/ha	167
Tabela 6A – Fatores para conversão de unidades antigas em unidades do Sistema Internacional de Unidades	167
Tabela 7A – Fertilizantes nitrogenados comercializados no Brasil	168
Tabela 8A – Fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil	169
Tabela 9A – Fertilizantes potássicos comercializados no Brasil	170
Tabela 10A – Fertilizantes com Ca, Mg e S comercializados no Brasil	171
Tabela 11A – Fertilizantes com micronutrientes comercializados no Brasil	172
Tabela 12A – Especificações dos fertilizantes organo-mineral e “composto”	174
Tabela 13A – Especificações dos fertilizantes orgânicos simples	175
Tabela 14A – Composição média de alguns adubos orgânicos	175
Figura 1A – Compatibilidade entre vários fertilizantes minerais, adubos orgânicos e corretivos	176

ANEXO 1

CONCEITOS BÁSICOS SOBRE ACIDEZ DO SOLO E CTC

Embora os conceitos básicos de acidez e capacidade de troca de cátions (CTC) sejam bastante conhecidos, tanto na região temperada como na região tropical, ainda existe muita confusão gerada pelo uso inadequado destes conceitos na solução de problemas ligados à fertilidade do solo.

Deve-se salientar que nem os princípios fundamentais da acidez do solo, nem aqueles ligados à CTC podem ou devem ser considerados em termos isolados, sendo óbvia a necessidade de avaliar as inter-relações entre os mesmos.

Neste sentido, cabem algumas definições isoladas destes conceitos, como meta para avaliá-los em conjunto, na diagnose de problemas ligados à fertilidade do solo.

1. Acidez ativa: é dada pela concentração de H^+ na solução do solo e é expressa em termos de pH, em escala que, para a maioria dos solos do Brasil, varia de 4,0 a 7,5. Esse tipo de acidez seria muito fácil de ser neutralizada se não fossem outras formas de acidez, notadamente a acidez trocável, que tende a manter, ao final de reações no solo, altos índices de acidez ativa. Estima-se que um solo com pH 4,0 e 25% de umidade necessitaria apenas 2,5 kg de carbonato de cálcio puro, por hectare, para corrigir este tipo de acidez (acidez ativa).

2. Acidez trocável ($cmol_c/dm^3$ ou $mmol_c/dm^3$): refere-se ao alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio (H^+) trocáveis e adsorvidos nas superfícies dos colóides minerais ou orgânicos, por forças eletrostáticas. Este tipo de acidez é, nas análises de rotina, extraído com KCl 1N, não tamponado, que também é utilizado em alguns laboratórios para cálcio e magnésio trocáveis.

Uma vez que existe muito pouco H^+ trocável em solos minerais (solos orgânicos já apresentam altos níveis de H^+ trocável), acidez trocável e Al trocável são considerados como equivalentes. Nos boletins de análise, este tipo de acidez é representado por Al trocável e expresso em $cmol_c/dm^3$ ou $mmol_c/dm^3$. A acidez trocável, também conhecida por Al trocável ou acidez nociva, apresenta efeito prejudicial no desenvolvimento normal de um grande número de culturas. Portanto, quando um solo apresenta toxidez de alumínio, isto significa que ele possui altos índices de acidez trocável ou acidez nociva. Um dos principais efeitos da calagem é eliminar este tipo de acidez.

3. Acidez não-trocável ($cmol_c/dm^3$ ou $mmol_c/dm^3$): é a quantidade de acidez titulável que ainda permanece no solo, após a remoção da acidez trocável com uma solução de um sal neutro não-tamponado, como KCl 1N. Este tipo de acidez é representado por H^+ em ligação covalente (mais difícil de ser rompida) com as frações orgânicas e minerais do solo. O ponto relevante em relação a este tipo de acidez é que ela não é prejudicial ao crescimento vegetal, embora, em certas situações, doses mais elevadas de calcário, que a neutralizem total ou parcialmente, possam apresentar efeitos benéficos adicionais.

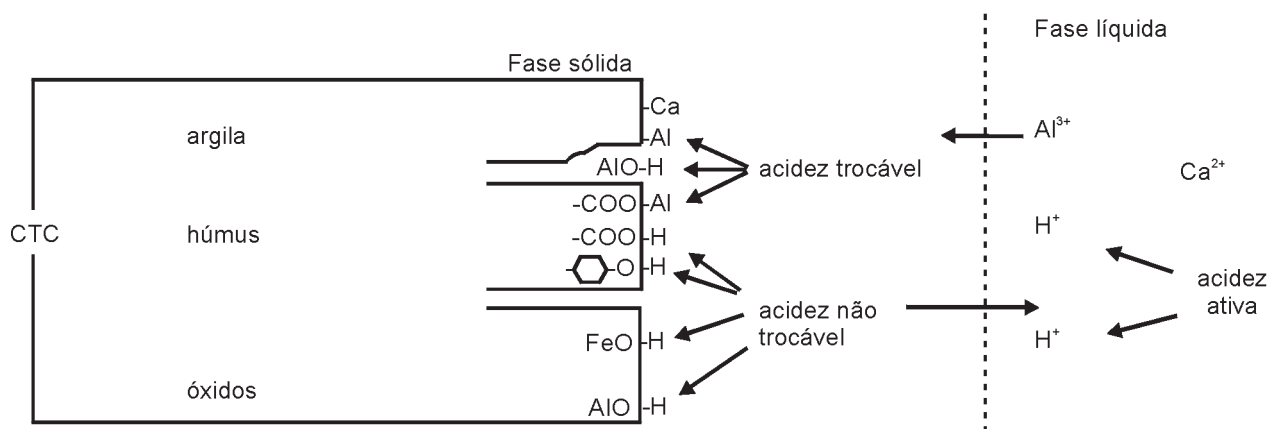
A avaliação da acidez não-trocável é feita subtraindo-se os valores da acidez trocável da acidez potencial ou total, sendo ambas expressas em $cmol_c/dm^3$ ou $mmol_c/dm^3$.

Outro ponto relevante é que a acidez não-trocável é uma estimativa das cargas negativas passíveis de serem liberadas a pH 7,0, em decorrência da metodologia utilizada. É, portanto, um parâmetro que interage intimamente com a CTC do solo.

4. Acidez potencial ou acidez total ($cmol_c/dm^3$ ou $mmol_c/dm^3$): refere-se ao total de H^+ em ligação covalente, mais H^+ + Al^{3+} trocáveis, sendo usada na sua determinação uma solução tamponada a pH 7,0. Muitos laboratórios de rotina em fertilidade do solo, no Brasil, já incorporaram determinação do H^+ + Al^{3+} , com todas as implicações benéficas do conhecimento e utilização deste parâmetro.

Um esquema dos principais componentes da acidez, em relação às frações ativas da matéria orgânica, minerais de argila, óxidos, oxi-hidróxidos e hidróxidos de ferro e alumínio é mostrado na figura que segue, para uma consolidação mais efetiva destes conceitos.

COMPONENTES DA ACIDEZ DO SOLO



Acidez trocável + Acidez não trocável = Acidez potencial

(Fonte: Adaptado de Raji & Quaggio, 1984)

5. Soma de bases trocáveis ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ou $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$) = SB: este parâmetro, como o próprio nome indica, reflete a soma de cálcio, magnésio, potássio e, se for o caso, também o sódio, todos na forma trocável, no complexo de troca de cátions do solo. Enquanto os valores absolutos, resultantes das análises destes componentes, refletem os níveis destes parâmetros de forma individual, a soma de bases dá uma indicação do número de cargas negativas dos colóides que estão ocupadas por bases. A soma de bases, em comparação com a CTC efetiva e Al trocável, permite calcular a porcentagem de saturação por alumínio e a porcentagem de saturação por bases desta CTC. Em comparação com a CTC a pH 7,0, permite avaliar a porcentagem de saturação por bases desta CTC (V%), parâmetro indispensável para o cálculo da calagem, pelo método utilizado em alguns Estados do país.

$$\text{SB} = \text{Soma de bases trocáveis} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + (\text{Na}^+)$$

com os valores expressos em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ou $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$

6. CTC efetiva ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ou $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$) = t: reflete a capacidade efetiva de troca de cátions do solo ou, em outras palavras, a capacidade do solo em reter cátions próximo ao valor do pH natural. Quando se compara a CTC efetiva de um solo virgem sob cerrado ($1,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) com a de um Latossolo Roxo eutrófico, por exemplo, $15,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, fica óbvio o comportamento diferencial destes solos em termos de retenção de cátions, perdas por lixiviação, necessidade de parcelamento das adubações potássicas, etc. Avaliando-se este parâmetro, em conjunto com textura e teor de matéria orgânica, pode-se inferir uma série de dados adicionais relevantes ao adequado manejo da fertilidade dos solos.

$$t = \text{CTC efetiva} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + (\text{Na}^+) + \text{Al}^{3+}$$

com os componentes expressos em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ou $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$

7. Porcentagem de saturação por alumínio = m%: expressa a fração ou quantos por cento da CTC efetiva estão ocupados pela acidez trocável ou Al trocável. Em termos práticos, reflete a porcentagem de cargas negativas do solo, próximo ao pH natural, que está ocupada por Al trocável. É uma outra forma de expressar a toxidez de alumínio. Em geral, quanto mais ácido é um solo, maior o teor de Al trocável em valor absoluto, menores os teores de Ca, Mg e K, menor a soma de bases e maior a porcentagem de saturação por alumínio. O efeito prejudicial de altos teores de Al trocável e/ou de alta porcentagem de saturação por alumínio, no desenvolvimento e produção de culturas sensíveis a este problema, é fato amplamente comprovado pela pesquisa.

$$m\% = \text{Porcentagem de saturação por Al} = \frac{100 \times \text{Al}^{3+}}{t} \quad \text{ou} \quad \frac{100 \times \text{Al}^{3+}}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + (\text{Na}^{+}) + \text{Al}^{3+}}$$

com os valores expressos em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ou $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$.

Subtraindo-se a porcentagem de saturação por Al (m%) de 100% obtém-se a porcentagem de saturação por bases da CTC efetiva.

8. CTC a pH 7,0 ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ou $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$) = T: esta CTC, também conhecida como capacidade de troca potencial do solo, é definida como a quantidade de cátions adsorvida a pH 7,0. É um parâmetro utilizado nos levantamentos de solos no Brasil e, em geral, sub-utilizado em termos de avaliação de fertilidade. Sob o ponto de vista prático, é o nível da CTC de um solo que seria atingido caso a calagem deste fosse feita para elevar o pH a 7,0, ou o máximo de cargas negativas liberadas a pH 7,0, passíveis de serem ocupadas por cátions.

A diferença básica entre a CTC efetiva e a CTC a pH 7,0 é que esta última inclui hidrogênio (H^+), que se encontrava em ligação covalente (muito forte) com o oxigênio nos radicais orgânicos e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio, tão comuns nos solos brasileiros.

$$T = \text{CTC a pH 7,0} = \text{SB} + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}) = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + (\text{Na}^{+}) + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$$

com os componentes expressos em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ou $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$.

9. Porcentagem de saturação por bases da CTC a pH 7,0 = V%: este parâmetro reflete quantos por cento dos pontos potenciais de troca de cátions, do complexo coloidal do solo, estão ocupados por bases, ou seja, quantos por cento das cargas negativas, passíveis de troca a pH 7,0, estão ocupadas por Ca, Mg, K e, às vezes, Na, em comparação com aqueles ocupados por H e Al. É um parâmetro utilizado para separar solos considerados férteis ($V\% > 50$) de solos de menor fertilidade ($V\% < 50$).

É indispensável para o cálculo da calagem pelo método da elevação da saturação por bases, em uso em vários Estados.

$$V\% = \frac{100 \times \text{SB}}{T} = \frac{100 \times [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + (\text{Na}^{+})]}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + (\text{Na}^{+}) + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}}$$

com os componentes expressos em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ou $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$.

Subtraindo-se a porcentagem de saturação por bases (V%) de 100%, obtém-se a porcentagem de saturação por ácidos, H + Al (M%), da CTC a pH 7,0.

No Conceito de Produção 1-6 são comentados alguns aspectos do solo como reservatório de cátions. Um aspecto interessante nesta ilustração é que as bases [$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + (\text{Na}^{+})$] ocupam cerca de 50% da CTC efetiva e cerca de 20% da CTC a pH 7,0. Conseqüentemente, o conceito de saturação por bases depende do conceito de CTC envolvido.

Pode-se deduzir, portanto, que à medida que se incorpora calcário ao solo, aumenta-se o nível de Ca e Mg, e reduz-se o teor de Al, sendo que a pH 5,6 não deve existir Al trocável no solo e, conseqüentemente, a porcentagem de saturação por Al da CTC efetiva deve ser praticamente zero ou, em outras palavras, a porcentagem de saturação por bases da CTC efetiva deve ser 100%, ou a acidez trocável deixa de existir. Para certas culturas, calagem apenas para neutralizar esta acidez trocável seria mais recomendável.

É importante comentar-se, ainda, que grande parte da CTC a pH 7,0 é ocupada por H^+ , que precisa ser neutralizado pela ação da calagem, se se deseja liberar cargas negativas que se encontram não dissociadas. Isto somente irá ocorrer com a elevação do pH acima do valor 5,6, onde o Al ou acidez trocável já deixa de atuar. Muitas culturas mostram efeitos benéficos da incorporação de calcário em doses mais elevadas, que irão neutralizar parte deste H^+ , ou parte desta acidez não-trocável. Esta é a base do método de recomendação de calcário pelo critério de elevação da saturação por bases da CTC a pH 7,0, uma vez que elevar a saturação por bases corresponde a elevar o pH, diminuir a saturação por Al e gerar mais pontos de troca catiônica dependentes de pH.

Observação: Neste texto e na Tabela 1A, a soma de bases é representada por SB, em substituição ao símbolo S tradicional, com a finalidade de evitar confusão com o símbolo do enxofre.

ANEXO 2

QUALIDADE DOS CORRETIVOS DE ACIDEZ DO SOLO

A qualidade dos corretivos de acidez do solo é, em geral, determinada em função de duas características: **granulometria e teor de neutralizantes**.

Em termos de **granulometria**, que nada mais é que o grau de moagem do material, a legislação brasileira atual (Portaria SEFIS nº 03 de 12 de junho de 1986) determina que os corretivos da acidez do solo deverão possuir as seguintes características mínimas:

- Passar 100% em peneira de 2,00 mm (ABNT nº 10)
- Passar 70% em peneira de 0,84 mm (ABNT nº 20)
- Passar 50% em peneira de 0,30 mm (ABNT nº 50)

(Permitida tolerância de 5% na peneira de 2,00 mm)

A **reatividade (RE)**, ou a velocidade de ação do corretivo no solo, é função da granulometria e, para efeito de cálculo, adotam-se os seguintes valores:

Fração	Reatividade (%)
> 2,00 mm	0
< 2,00 mm e > 0,84 mm	20
< 0,84 mm e > 0,30 mm	60
< 0,30 mm	100

A avaliação do **teor de neutralizantes** é feita pela determinação do **poder de neutralização (PN)**, expresso em E_{CaCO_3} (equivalente em $CaCO_3$), de acordo com a metodologia vigente, e que é a capacidade potencial (teórica) de um corretivo para corrigir a acidez dos solos.

A legislação atual determina que os corretivos de acidez comercializados no Brasil possuam as seguintes características mínimas quanto ao poder de neutralização (PN) e aos teores de CaO e MgO:

Materiais corretivos da acidez	PN % E_{CaCO_3}	Soma % CaO + % MgO
Calcários	67	38
Cal virgem agrícola	125	68
Cal hidratada agrícola	94	50
Escórias	60	30
Calcário calcinado agrícola	80	43
Outros	67	38

O poder relativo de neutralização total (PRNT), que integra a granulometria e o teor de neutralizantes é obtido pela fórmula:

$$\text{PRNT} = \text{PN} \times \frac{\text{RE}}{100}$$

O exemplo a seguir ajuda a compreender o conceito:

Calcário:

Característica química	Granulometria
CaO = 38%	> 2,00 mm = 2%
MgO = 10%	< 2,00 mm e > 0,84 mm = 12%
PN = 93%	< 0,84 mm e > 0,30 mm = 26%
	< 0,3 mm = 60%

$$\text{PN} = 93\%$$

$$\text{RE} = \frac{0 \times (2) + 20 \times (12) + 60 \times (26) + 100 \times (60)}{100}$$

$$\text{RE} = 78\%$$

$$\text{PRNT} = \frac{93 \times 78}{100} ; \quad \text{PRNT} = 72,5\%$$

Para os calcários, os valores mínimos estabelecidos na legislação são 67% para PN e 45% para PRNT.

Os calcários podem ser classificados:

1) Quanto à concentração de MgO:

- a) calcíticos – menos de 5%
- b) magnesianos – de 5% a 12%
- c) dolomíticos – acima de 12%.

2) Quanto ao PRNT:

- Faixa A) PRNT de 45,0 a 60,0%
- Faixa B) PRNT de 60,1 a 75,0%
- Faixa C) PRNT de 75,1 a 90,0%
- Faixa D) PRNT superior a 90,0%.

Tabela 1A. Níveis de fertilidade para interpretação de análise de solos em uso nos laboratórios em Minas Gerais.

Atributos	Teor no solo					
	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto	
----- cmol _c /dm ³ -----						
Ca trocável	-	0-1,5	1,6-4	> 4	-	
Mg trocável	-	0-0,5	0,6-1	> 1	-	
Al trocável	-	0-0,3	0,4-1	> 1	-	
Acidez potencial (H + Al)	-	0-2,5	2,6-5	> 5	-	
Soma de bases (SB = Ca + Mg + K)	-	0-2	2,1-5	> 5	-	
CTC efetiva (t) (SB + Al)	-	0-2,5	2,6-6	> 6	-	
CTC a pH 7,0 (T)	-	0-4,5	4,6-10	> 10	-	
----- mg/dm ³ -----						
K disponível	-	0-45	46-80	> 80	-	
P disponível						
• Solo argiloso	-	0-5	6-10	> 10	-	
• Solo barrento	-	0-10	10-20	> 20	-	
• Solo arenoso	-	0-20	21-30	> 30	-	
----- % -----						
Saturação por Al (m) (100 x Al/Al + SB)	-	0-20	21-40	41-60	> 60	
Saturação por bases (V) (100 x SB/T)	0-25	26-50	51-70	71-90	> 90	
----- dag/kg -----						
Matéria orgânica	-	0-1,5	1,6-3,0	> 3,0	-	
pH em água	Fortemente ácido	Medianamente ácido	Fracamente ácido	Neutro	Fracamente alcalino	Fortemente alcalino
	< 5	5,0-5,9	6-6,9	7	7,1-7,8	> 7,8

Notas: a) cmol_c/dm³ = meq/100 cm³; mg/dm³ = ppm; dag/kg = %.

b) Extratores: Ca, Mg, Al = KCl 1 mol/L; P, K = Mehlich 1; H + Al = solução tampão SMP ou acetato de amônio.

(Fonte: adaptada de CFSMG, 1998).

Tabela 2A. Níveis de fertilidade para interpretação de análise de solos em uso nos laboratórios do Estado de São Paulo.

Atributos	Produção relativa (%)				
	0-70	71-90	91-100	> 100	> 100
	Teores				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
	----- mg/dm ³ -----				
Fósforo (P)					
• Florestais	0-2	3-5	6-8	9-16	> 16
• Perenes	0-5	6-12	13-30	31-60	> 60
• Anuais	0-6	7-15	16-40	41-80	> 80
• Hortaliças	0-10	11-25	26-60	61-120	> 120
S-SO ₄ ²⁻	-	0-4	5-10	> 10	-
	----- mmol _c /dm ³ -----				
K ⁺ trocável	0,0 - 0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	3,1-6,0	> 6,0
Ca ²⁺ trocável	-	0-3	4-7	> 7	-
Mg ²⁺ trocável	-	0-4	5-8	> 8	-
	----- mg/dm ³ -----				
Boro (B)	-	0-0,20	0,21-0,60	> 0,60	-
Cobre (Cu)	-	0-0,2	0,3-0,8	> 0,8	-
Ferro (Fe)	-	0-4	5-12	> 12	-
Manganês (Mn)	-	0-1,2	1,2-5,0	> 5,0	-
Zinco (Zn)	-	0-0,5	0,6-1,2	> 1,2	-
Acidez pH em CaCl ₂	Muito alta Até 4,3	Alta 4,4-5,0	Média 5,1-5,5	Baixa 5,6-6,0	Muito baixa > 6,0
Saturação por bases V%	Muito baixa 0-25	Baixa 26-50	Média 51-70	Alta 71-90	Muito alta > 90

Notas: a) mmol_c/dm³ = meq/100cm³ x 10; mg/dm³ = ppm (massa/volume).

b) Extratores: P, K, Ca, Mg = resina; S = fosfato de cálcio; B = água quente; Cu, Fe, Mn, Zn = DTPA.
(Fonte: Raij et al., 1996).

Tabela 3A. Níveis de fertilidade do solo para interpretação de análise de solos em uso nos laboratórios do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Atributos	Teores					
	Limitante	Muito baixo	Baixo	Médio	Suficiente	Alto
pH em água	-	≤ 5	5,1-5,5	5,6-6,0	-	5,6-6,0
Matéria orgânica (%)	-	-	≤ 2,5	2,6-5,0	-	2,6-5,0
----- cmol _c /L -----						
Cálcio (Ca)	-	-	≤ 2,0	2,1-4,0	-	> 4,0
Magnésio (Mg)	-	-	≤ 0,5	0,6-1,0	-	> 1,0
Ca + Mg	-	-	≤ 2,5	2,6-5,0	-	> 5,0
----- mg/L -----						
Potássio (K)	≤ 20	21-40	41-60	61-80	81-120	> 120
Fósforo (P)(*)						
Classe 1	≤ 1	1,1-2	2,1-4	4,1-6	> 6	> 8
Classe 2	≤ 1,5	1,6-3	3,1-6	6,1-9	> 9	> 12
Classe 3	≤ 2	2,1-4	4,1-9	9,1-14	> 14	> 18
Classe 4	≤ 3	3,1-6	6,1-12	12,1-18	> 18	> 24
Classe 5	≤ 4	4,1-8	8,1-16	16,1-24	> 24	> 30
Classe 6	-	-	> 3	3,1-6	> 6	-
Enxofre (S)	-	-	< 2,0	2,0-5,0	-	> 5,0(**)
Cobre (Cu)	-	-	< 0,15	0,15-0,40	-	> 0,40
Zinco (Zn)	-	-	< 0,2	0,20-0,50	-	> 0,50
Boro (B)	-	-	< 0,1	> 0,3	-	> 0,3

(*)**Classe 1: > 55% de argila e/ou solos** Erexim, Durox, Vacaria, Santo Ângelo, Aceguá, Pouso Redondo, Boa Vista, etc.

Classe 2: 41 a 55% de argila e/ou solos Passo Fundo franco-argiloso e argiloso, Estação, Oásis, Ciríaco, Associação Ciríaco-Charrua, São Borja, Vila, Farroupilha, Rancho Grande, Içara, etc.

Classe 3: 26 a 40% de argila e/ou solos Passo Fundo franco-arenoso e arenoso, Júlio de Castilhos, São Jerônimo, Alto das Canas, São Gabriel, Canoinhas, Jacinto Machado, Lages, etc.

Classe 4: 11 a 25% de argila e/ou solos Cruz Alta, Tupanciretã, Rio Pardo, Camaquã, Bagé, Bexigoso, Pelotas, São Pedro, Santa Maria, Pinheiro Machado, etc.

Classe 5: 10% de argila e/ou solos Bom Retiro, Tuia, Vacacaí, etc.

Classe 6: solos alagados (arroz irrigado por inundação).

(**) 10,0 mg/L para leguminosas e para culturas exigentes em enxofre (brássicas, liliáceas, etc.).

Notas: a) Considerar como classe 2 os solos Ciríaco, Associação Ciríaco-Charrua, São Borja, Oásis, Farroupilha, etc., que apresentam elevado teor de silte.

b) % (m/v) = relação massa/volume; cmol_c/L = centimol de carga por litro de solo = me/100mL ou me/dL; mg/L (miligrama por litro de solo) = ppm (massa/volume).

c) Extratores: P e K = Mehlich 1; Ca, Mg, Al = KCl 1 M; S = fosfato de cálcio; Cu e Zn = HCl 0,1 M; B = água quente.

(Fonte: CFS-RS/SC, 1994).

Tabela 4A. Fatores para conversão entre as unidades e representação dos macronutrientes primários e secundários(*).

Elemento	Unidade conhecida	Milimol de carga(**)	Forma elementar	Forma de óxido	Forma de radical	Forma de sal
Nitrogênio		mmol _c	g N	(***) g NO ₃ ⁻	g NH ₄ ⁺	-
	mmol _c	1	0,01401	0,06201	0,01804	-
	g N	71,377	1	4,42680	1,28783	-
	g NO ₃ ⁻	16,126	0,22589	1	0,29092	-
	g NH ₄ ⁺	55,432	0,77650	3,43740	1	-
Fósforo		mmol _c	g P	g P ₂ O ₅	g PO ₄ ³⁻	-
	mmol _c	1	0,01032	0,02367	0,03166	-
	g P	96,899	1	2,29136	3,06618	-
	g P ₂ O ₅	42,265	0,43642	1	1,33812	-
	g PO ₄ ³⁻	31,589	0,32614	0,74732	1	-
Potássio		mmol _c	g K	g K ₂ O	-	-
	mmol _c	1	0,03909	0,04709	-	-
	g K	25,582	1	1,20458	-	-
	g K ₂ O	21,236	0,83016	1	-	-
Cálcio		mmol _c	g Ca	g CaO	-	g CaCO ₃
	mmol _c	1	0,02004	0,02804	-	0,05004
	g Ca	49,900	1	1,39920	-	2,49726
	g CaO	35,663	0,71470	1	-	1,78477
	g CaCO ₃	19,984	0,40044	0,56023	-	1
Magnésio		mmol _c	g Mg	g MgO	-	g MgCO ₃
	mmol _c	1	0,01215	0,02015	-	0,04216
	g Mg	82,304	1	1,65807	-	3,46829
	g MgO	49,628	0,60311	1	-	2,09100
	g MgCO ₃	23,719	0,28833	0,47807	-	1
Enxofre		mmol _c	g S	-	g SO ₄ ²⁻	g CaSO ₄
	mmol _c	1	0,01603	-	0,04803	0,06807
	g S	62,375	1	-	2,99588	4,24588
	g SO ₄ ²⁻	20,820	0,33379	-	1	1,41724
	g CaSO ₄	14,691	0,23552	-	0,70560	1

(*) Estes fatores, exceto meq, podem ser usados em outras unidades de peso.

(**) mmol_c (milimol de carga) = meq (miliequivalente).

(***) Não é óxido, mas sim radical.

Fonte: Adaptada de Verdade (1963).

Tabela 5A. Fatores multiplicativos de transformação dos resultados analíticos do solo, quando expressos em g/100 g (porcentagem), mg/100 g, mg/dm³ e kg ou t/ha.

Expressões	g/100g	mg/100g	mg/dm ³	kg/ha(*)	t/ha(*)
g/100 g	1	1.000	10.000	20.000	20
mg/100 g	0,001	1	10	20	0,02
mg/dm ³ (*)	0,0001	0,1	1	2	0,002
kg/ha(**)	0,00005	0,05	0,5	1	0,001
t/ha(**)	0,05	50	500	1.000	1

(*) Considerando-se densidade aparente = 1,00.

(**) Considerando-se um hectare com 2.000 t (profundidade de 20 cm e densidade aparente 1,00).

Fonte: Adaptada de Verdade (1963).

Tabela 6A. Fatores para conversão de unidades antigas em unidades do Sistema Internacional de Unidades.

Unidade antiga (A)	Unidade nova (N) (N = A x F)	Fator de conversão (F)
%	g/kg, g/dm ³ , g/L	10
ppm	mg/kg, mg/dm ³ , mg/L	1
meq/100 cm ³	mmol _c /dm ³	10
meq/100 g	mmol _c /kg	10
meq/L	mmol _c /L	1
P ₂ O ₅	P	0,437
K ₂ O	K	0,830
CaO	Ca	0,715
MgO	Mg	0,602
mmho/cm	dS/m	1

Fonte: Rajj et al. (1996).

Tabela 7A. Fertilizantes nitrogenados comercializados no Brasil.

Fertilizante	Garantia mínima	Forma do nutriente	Observações
Amônia anidra	82% de N	Amoniacal (NH ₄ ⁺)	
Água amoniacal	10% de N	Amoniacal (NH ₄ ⁺)	
Cianamida de cálcio	18% de N	Cianamídica e até 3% de N como nitrato de cálcio	28 a 38 % de cálcio
Cloreto de amônio	25% de N	Amoniacal (NH ₄ ⁺)	62 a 66% de cloro
Nitrato de amônio	32% de N	50% amoniacal (NH ₄ ⁺) 50% nítrica (NO ₃ ⁻)	
Nitrato de amônio e cálcio	20% de N	50% amoniacal (NH ₄ ⁺) 50% nítrica (NO ₃ ⁻)	2 a 8% de cálcio e 1 a 5% de magnésio
Nitrato de cálcio	14% de N	Nítrica (NO ₃ ⁻) e até 1,5% amoniacal (NH ₄ ⁺)	18 a 19% de cálcio e 0,5 a 1,5 % de magnésio
Nitrato duplo de sódio e potássio	15% de N 14% de K ₂ O	Nítrica (NO ₃ ⁻)	
Nitrato de sódio	15% de N	Nítrica (NO ₃ ⁻)	O teor de perclorato de sódio não poderá exceder a 1%
Nitrosulfocálcio	25% de N	50% amoniacal (NH ₄ ⁺) 50% amídica (NH ₂)	3 a 5% de cálcio e 3 a 5% de magnésio
Solução nitrogenada	21% de N	Soluções aquosas de amônia, nitrato de amônio, uréia e outros compostos	
Sulfato de amônio	20% de N	Amoniacal (NH ₄ ⁺)	22 a 24% de enxofre. O teor de tiocinato de amônio não poderá exceder a 1%
Sulfonitrato de amônio	25% de N	75% amoniacal (NH ₄ ⁺) 25% amídica (NH ₂)	13 a 15% de enxofre
Sulfonitrato de amônio e magnésio	19% de N 3,5% de Mg	67% amoniacal (NH ₄ ⁺) 33% nítrica (NO ₃ ⁻)	12 a 14% de enxofre
Uréia	44% de N	Amídica (NH ₂)	Teor de biureto até 1,5% para aplicação no solo e 0,3% para adubação foliar
Uréia formaldeído	35% de N	Amídica (NH ₂)	Pelo menos 60% do N total deve ser insolúvel em água
Uréia-Sulfato de amônio	40% de N	88% amídica (NH ₂) 12% amoniacal (NH ₄ ⁺)	Teor de biureto até 1,5% para aplicação no solo e 0,3% para adubação foliar

Tabela 8A. Fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil.

Fertilizante	Garantia mínima	Forma do nutriente	Observações
Escória de Thomas	12% de P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ sol. em ácido cítrico a 2% na relação: 1:100	20 a 29% de cálcio e 0,4 a 3% de magnésio
Fosfato bicálcico	38% de P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ sol. em CNA* + H ₂ O	12 a 14% de cálcio
Fosfato diamônico (DAP)	16% N 45% P ₂ O ₅ 38% P ₂ O ₅	N na forma de NH ₄ ⁺ P ₂ O ₅ sol. em CNA + H ₂ O P ₂ O ₅ sol. em H ₂ O	
Fosfato monoamônico (MAP)	9% N 48% P ₂ O ₅ 44% P ₂ O ₅	N na forma de NH ₄ ⁺ P ₂ O ₅ sol. em CNA + H ₂ O P ₂ O ₅ sol. em H ₂ O	
Fosfato monopotássico	51% P ₂ O ₅ 33% K ₂ O	P ₂ O ₅ sol. em H ₂ O K ₂ O sol. em H ₂ O	
Fosfato natural	24% P ₂ O ₅ 4% P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ total P ₂ O ₅ sol. em ácido cítrico a 2% na relação: 1:100	23 a 27% de cálcio
Fosfato natural parcialmente acidulado (clorídrico)	25% P ₂ O ₅ 18% P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ total P ₂ O ₅ sol. em CNA + H ₂ O	Contém cálcio e cloro
Fosfato natural parcialmente acidulado (fosfórico ou sulfúrico)	20% P ₂ O ₅ 9% P ₂ O ₅ ou 11% P ₂ O ₅ 5% P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ total P ₂ O ₅ sol. em CNA + H ₂ O P ₂ O ₅ sol. em ácido cítrico a 2% na relação: 1:100 P ₂ O ₅ sol. em água	25 a 27% de cálcio; 0 a 6% de enxofre e 0 a 2% de magnésio
Fosfato natural reativo	28% P ₂ O ₅ (farelado) 9% P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ total P ₂ O ₅ sol. em ácido cítrico a 2% na relação: 1:100	30 a 34% de cálcio
Fosfossulfato de amônio	13% de N 20% de P ₂ O ₅	N na forma de NH ₄ ⁺ P ₂ O ₅ sol. em CNA + H ₂ O	14 a 15% de enxofre
Hiperfosfato	30% P ₂ O ₅ pó 12% P ₂ O ₅ 28% P ₂ O ₅ (granulado) 12% P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ total P ₂ O ₅ sol. em ácido cítrico a 2% na relação: 1:100 P ₂ O ₅ total P ₂ O ₅ sol. em ácido cítrico a 2% na relação: 1:100	30 a 34% de cálcio
Nitrofosfato	14% de N 18% de P ₂ O ₅ 16% P ₂ O ₅	N na forma de NO ₃ ⁻ P ₂ O ₅ sol. em CNA + H ₂ O P ₂ O ₅ sol. em H ₂ O	8 a 10% de cálcio
Superfosfato duplo	28% de P ₂ O ₅ 25% P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ sol. em CNA + H ₂ O P ₂ O ₅ sol. em H ₂ O	18 a 20% de cálcio e 6 a 8% de enxofre

*CNA = Citrato Neutro de Amônio.

(Continua)

Tabela 8A. Continuação.

Fertilizante	Garantia mínima	Forma do nutriente	Observações
Superfosfato simples	18% P ₂ O ₅ 16% P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ sol. em CNA + H ₂ O P ₂ O ₅ sol. em H ₂ O	18 a 20% de cálcio e 10 a 12% de enxofre
Superfosfato simples amoniado	1% de N 14% de P ₂ O ₅	N na forma de NH ₄ ⁺ P ₂ O ₅ sol. em CNA + H ₂ O	N + P ₂ O ₅ ≥ 18%; 15 a 19% de cálcio e 10 a 12% de enxofre
Superfosfato triplo	41% P ₂ O ₅ 37% P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ sol. em CNA + H ₂ O P ₂ O ₅ sol. em H ₂ O	12 a 14% de cálcio
Superfosfato triplo amoniado	1% de N 38% de P ₂ O ₅	N na forma de NH ₄ ⁺ P ₂ O ₅ sol. em CNA + H ₂ O	N + P ₂ O ₅ ≥ 41%; 11 a 13% de cálcio
Termofosfato magnésiano	17% P ₂ O ₅ 14% P ₂ O ₅ 7% Mg	P ₂ O ₅ total P ₂ O ₅ sol. em ácido cítrico a 2% na relação: 1:100	18 a 20% de cálcio
Termofosfato magnésiano grosso	17% P ₂ O ₅ 14% P ₂ O ₅ 7% Mg 100% passa em peneira ABNT N ^o 28 (0,84 mm)	P ₂ O ₅ total P ₂ O ₅ sol. em ácido cítrico a 2% na relação: 1:100	18 a 20% de cálcio
Termo superfosfato	18% P ₂ O ₅ 16% P ₂ O ₅ 5% P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ total P ₂ O ₅ sol. em ácido cítrico a 2% na relação: 1:100 P ₂ O ₅ sol. em água	12 a 15% de cálcio, 3 a 5% de enxofre e 1 a 2% de magnésio

*CNA = Citrato Neutro de Amônio.

Extrato da legislação vigente (Ministério da Agricultura e Reforma Agrária).

Tabela 9A. Fertilizantes potássicos comercializados no Brasil.

Fertilizante	Garantia mínima	Forma do nutriente	Observações
Cloreto de potássio	58% K ₂ O	K ₂ O solúvel em água (cloreto)	45 a 48% cloro (Cl)
Sulfato de potássio	48% K ₂ O	K ₂ O solúvel em água (sulfato)	15 a 17% enxofre (S) 0 a 1,2% magnésio (Mg)
Sulfato de potássio e magnésio	18% K ₂ O 4,5% Mg	K ₂ O e Mg solúveis em água (sulfato)	22 a 24% enxofre (S) 1 a 2,5% cloro (Cl)
Nitrato de potássio	44% K ₂ O 13% N	K ₂ O solúvel em água N na forma nítrica (NO ₃ ⁻)	

Extrato da legislação vigente (Ministério da Agricultura e Reforma Agrária).

Tabela 10A. Fertilizantes com Ca, Mg e S comercializados no Brasil.

Fertilizante	Garantia mínima	Forma do nutriente	Observações
Carbonato de magnésio	27% Mg	Magnésio total na forma de carbonato (MgCO_3)	
Cloreto de cálcio	24% de Ca	Ca solúvel em água na forma de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
Enxofre	95% de S	Enxofre total	
Kieserita	16% de Mg	Mg solúvel em água ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	21 a 27% de enxofre
Óxido de magnésio (Magnésia)	55% Mg	Magnésio total na forma de óxido (MgO)	
Sulfato de cálcio (Gesso agrícola)	16% de Ca 13% de S	Ca e S determinados na forma elementar	
Sulfato de magnésio	9% Mg	Solúvel em água	12 a 14% de enxofre

Extrato da legislação vigente (Ministério da Agricultura e Reforma Agrária).

Tabela 11A. Fertilizantes com micronutrientes comercializados no Brasil.

Micronutriente	Fertilizante	Garantia mínima	Forma do nutriente	Observações
Boro	Bórax	11% B	Borato de sódio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ou ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	Solúvel em água
	Ácido bórico	17% B	Ácido (H_3BO_3)	Solúvel em água
	Pentaborato de sódio	18% B	Borato de sódio ($\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ou ($\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16}$)	Solúvel em água
	Ulexita	8% B	Borato de sódio ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$)	Não solúvel em água 12 a 14% cálcio (Ca)
	Colemanita	10% B	Boro total na forma de borato de cálcio ($\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	Não solúvel em água
	FTE	1% B (total)	Silicato	Não solúvel em água
	Boro orgânico	8% B	Boro na forma de éster ou amida	
Cobre	Sulfato de cobre	13% Cu	Sulfato	Solúvel em água e 16 a 18% enxofre (S)
	Fosfato cúprico amoniacal	32% Cu	Fosfato de amônio e cobre ($\text{CuNH}_4\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	34 a 36% P_2O_5 solúvel em CNA amoniacal + água e 5 a 7% de N total
	Cloreto cúprico	16% Cu	Cloreto (CuCl_2)	Solúvel em água e 50 a 52% cloro (Cl)
	Óxido cúprico	75%Cu	Óxido (CuO)	
	Óxido cuproso	89%Cu	Óxido (Cu_2O)	
	FTE	1% Cu (total)	Silicato	Não solúvel em água
	Quelato de cobre	5% Cu	Ligado a EDTA, HEDTA, poliflavonóides, ligno-sulfonatos	Solúvel em água
	Nitrato de cobre	22% Cu	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Solúvel em água 9% de N
	Carbonato de cobre	48% Cu	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	
Ferro	Fosfato ferroso amoniacal	29% Fe	$\text{Fe}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Solúvel em água 36 a 38% P_2O_5 e 5 a 7% N (totais)
	Polifosfato de ferro e amônio	22% Fe	$\text{Fe}(\text{NH}_4)\text{HP}_2\text{O}_7$	55 a 59% P_2O_5 e 4 a 5% N (totais)
	Sulfato férrico	23% Fe	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	18 a 20% enxofre (S)
	Sulfato ferroso	19% Fe	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10 a 11% enxofre (S)

(Continua)

Tabela 11A. Continuação.

Micronutriente	Fertilizante	Garantia mínima	Forma do nutriente	Observações
Ferro	FTE	2% Fe (total)	Silicato	Não solúvel em água
	Quelato de ferro	5% Fe	Ligado a EDTA, HEDTA, poliflavonóides, ligno-sulfonatos	Solúvel em água
	Nitrato férrico	11% Fe	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Solúvel em água e 8% de N
	Cloreto férrico	15% Fe	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Solúvel em água e 30% de Cl
	Cloreto ferroso	23% Fe	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Solúvel em água e 30% de Cl
	Carbonato de ferro	41% Fe	FeCO_3	
Manganês	Sulfato manganoso	26% Mn	$\text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Solúvel em água e 14 a 15% enxofre (S)
	Óxido manganoso	41% Mn (total)	MnO	Não solúvel em água
	FTE	2% Mn (total)	Silicato	Não solúvel em água
	Quelato de manganês	5% Mn	Ligado a EDTA, HEDTA, poliflavonóides, ligno-sulfonatos	Solúvel em água
	Nitrato de manganês	16% Mn	$\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Solúvel em água e 8% de N
	Cloreto de manganês	35% Mn	MnCl_2	Solúvel em água e 45% de Cl
	Carbonato de manganês	40% Mn	MnCO_3	
Molibdênio	Molibdato de amônio	54% Mo	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Solúvel em água e 5 a 7% N total
	Molibdato de sódio	39% Mo	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Solúvel em água
	Trióxido de molibdênio	66% Mo (total)	MoO_3	Não solúvel em água
	FTE	0,1% Mo	Silicato	Não solúvel em água
Zinco	Sulfato de zinco	20% Zn	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Solúvel em água e 16 a 18% enxofre (S)
	Carbonato de zinco	52% Zn (total)	ZnCO_3	Não solúvel em água
	Óxido de zinco	50% Zn (total)	ZnO	Não solúvel em água
	FTE	3% Zn (total)	Silicato	Não solúvel em água

(Continua)

Tabela 11A. Continuação.

Micronutriente	Fertilizante	Garantia mínima	Forma do nutriente	Observações
Zinco	Quelato de zinco	7% Zn	Ligado a EDTA, HEDTA, poliflavonóides, ligno-sulfonatos	Solúvel em água
	Nitrato de zinco	18% Zn	Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	Solúvel em água e 8% de N
	Cloreto de zinco	40% Zn	ZnCl ₂	Solúvel em água e 44% de Cl
Cobalto	Cloreto de cobalto	34% Co	CoCl ₂ .2H ₂ O	Solúvel em água
	Óxido de cobalto	75% Co (total)	CoO	Não solúvel em água
	FTE	0,1% Co	Silicato	Não solúvel em água
	Nitrato de cobalto	17% Co	Co(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	Solúvel em água e 8% de N
	Fosfato de cobalto	41% Co	Co(PO ₄) ₂	32% de P ₂ O ₅
	Sulfato de cobalto	18% Co	CoSO ₄ .7H ₂ O	Solúvel em água e 9% de S
	Carbonato de cobalto	42% Co	CoCO ₃	
	Quelato de cobalto	2% Co	Ligado a EDTA, DTPA, EDDHA, HEDTA, EDDHMA, EDDCHA, poliflavonóides, ligno-sulfonatos, glucomatos e citratos	Solúvel em água

Extrato da legislação vigente (Ministério da Agricultura e Reforma Agrária).

Tabela 12A. Especificações dos fertilizantes organo-mineral e “composto”.

Garantia	Organo-mineral	“Composto”
Matéria orgânica total	Mínimo de 15%	Mínimo de 40%
Nitrogênio total	Conforme declarado no registro	Mínimo de 1,0%
Umidade	Máximo de 20%	Máximo de 40%
Relação C/N	-	Máximo de 18/1
pH	Mínimo de 6,0	Mínimo de 6,0
P ₂ O ₅	Conforme declarado no registro	-
K ₂ O	Conforme declarado no registro	-
Soma (NPK, NP, PK ou NK)	Mínimo de 6%	-

Extrato da legislação vigente (Ministério da Agricultura e Reforma Agrária).

Tabela 13A. Especificações dos fertilizantes orgânicos simples.

Orgânicos simples processados de	Umidade máxima (%)	Matéria orgânica mínimo (%)	pH mínimo	C/N máximo	N mínimo (%)	P ₂ O ₅ mínimo (%)
Esterco de bovino	25	36	6	20/1	1	-
Esterco de galinha	25	50	6	20/1	1,5	-
Bagaço de cana	25	36	6	20/1	1	-
Palha de arroz	25	36	6	20/1	1	-
Palha de café	25	46	6	20/1	1,3	-
Borra de café	25	60	6	20/1	1,8	-
Torta de algodão	15	70	-	-	5	-
Torta de amendoim	15	70	-	-	5	-
Torta de mamona	15	70	-	-	5	-
Torta de soja	15	70	-	-	5	-
Farinha de osso	15	6	-	-	1,5	20 (total) dos quais 80% solúvel em ácido cítrico a 2%
Farinha de peixe	15	50	-	-	4	6 (total)
Farinha de sangue	10	70	-	-	10	-
Turfa e Linhita	25	30	6	18/1	1	-

Extrato da legislação vigente (Ministério da Agricultura e Reforma Agrária).

Tabela 14A. Composição média de alguns adubos orgânicos*.

Adubo	Matéria orgânica	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
----- % -----				
Esterco de bovinos	57	1,7	0,9	1,4
Esterco de equinos	46	1,4	0,5	1,7
Esterco de suínos	53	1,9	0,7	0,4
Esterco de ovinos	65	1,4	1,0	2,0
Esterco de aves	50	3,0	3,0	2,0
Composto orgânico	31	1,4	1,4	0,8
Resíduo urbano	29	1,4	0,2	1,0
----- kg/m ³ -----				
Vinhaça	pH			
Mosto de melaço	4,2	49	0,7	0,2
Mosto de calda	4,0	31	0,3	0,2
Mosto misto	3,6	24	0,4	0,3

* Com exceção dos três tipos de vinhaça, os demais dados são com base na matéria seca.

LITERATURA CONSULTADA

- ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. **Acidez do Solo e Calagem**. 2.ed. São Paulo, 1988. 16p. (Boletim Técnico nº 1)
- BRASIL - Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária - Divisão de Fiscalização de Corretivos e Fertilizantes. **Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura - Legislação**. Brasília: Ministério da Agricultura, 1983. 86p.
- CFSEMG – COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 4ª aproximação**. Lavras, 1989. 159p.
- CFS-RS/SC – COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3.ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 1994. 223p.
- KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- LOPES, A.S. **Solos sob “cerrado”; características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 162p.
- LOPES, A.S.; GUIDOLIN, J.A. **Interpretação de Análise de Solo: conceitos e aplicações**. São Paulo: ANDA- Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1987. 58p. (Boletim Técnico nº 2)
- MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola; nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1968. 640p.
- MARTIN, J.P.; ERVIN, J.O.; WOLF, D.C. **Microbiology of Turf Soils - Turfgrass slide monograf**. Madison: Crop Science Society of America, 1978. 10p.
- ORLANDO Fº, J.; LEME, E.J.A. Utilização agrícola dos resíduos de agro-indústria canavieira. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. **Anais**. Brasília: EMBRAPA-DEP, 1984. p.451-475.
- RAIJ, B. VAN. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1981. 142p.
- RAIJ, B. VAN. **Gesso agrícola na melhoria dos solos brasileiros**. São Paulo: ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1988. 88p.
- RAIJ, B. VAN; QUAGGIO, J.A. Uso e eficiência de calcário e gesso na agricultura. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. **Anais**. Brasília: EMBRAPA-DEP, 1984. p.323-346.
- RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 285p. (Boletim Técnico nº 100)
- RUTLAND, D.W.; SCHULTZ, J.J. **Fertilizer Quality Control**. Alabama: International Fertilizer Development Center (IFDC), 1988. 10p. (Mimeografado)
- SIQUEIRA, O.J.F. de et al. **Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1987. 100p.
- TISDALE, F.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers**. 3.ed. New York: Mac Millan Publishing Co. Inc., 1975. 694p.
- VERDADE, F.C. **Representação e conversão dos constituintes do solo, dos adubos e das cinzas das plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1963. 16p. (Boletim Técnico nº 71)