

Nitrogênio

Nº 1

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

Você sabia que cerca de 80% do ar que respiramos é gás nitrogênio (N_2)? De fato, há cerca de 34.000 t/ha de nitrogênio (N) no solo e 37.000 t na atmosfera. As culturas não podem usar praticamente nada desse N_2 atmosférico até que ele seja modificado por meio de processos naturais ou da produção comercial de fertilizantes nitrogenados.

Por meio de vários processos biológicos ou industriais de fixação, o N_2 atmosférico é transformado nas formas assimiláveis pelas plantas: amônio (NH_4^+) ou nitrato (NO_3^{2-}). Pequenas quantidades podem ser fixadas por descargas atmosféricas e levadas para a superfície terrestre pela chuva. Também pode ser fixado por certos organismos no solo e em nódulos nas raízes de leguminosas. A fixação industrial fornece as milhões de toneladas de fertilizantes nitrogenados produzidas comercialmente e necessárias para o cultivo das culturas em todo o mundo.

O N é um nutriente fundamental por ser parte da composição das proteínas de plantas e animais. O valor nutricional dos alimentos que ingerimos depende, em grande parte, do fornecimento adequado deste nutriente.



Folha de milho com deficiência de nitrogênio.

FOTO: IPNI SHARMA E KUMAR

Nitrogênio nas plantas

O N é exigido pelas culturas em maiores quantidades do que qualquer outro nutriente, exceto potássio (K). Algumas culturas absorvem mais K do que N. A **Tabela 1** mostra a quantidade de N exigida por várias culturas. Nitrato e amônio inorgânicos são as principais formas de N absorvidas pelas raízes das plantas.

Nitrogênio nos solos

Embora a quantidade de N armazenada na matéria orgânica do solo seja grande (em média, mais do que 1.135 kg/ha), a quantidade decomposta e disponível para a absorção pela planta é relativamente pequena. Normalmente, essa decomposição

não é sincronizada com a necessidade da planta. Muito pouco N é encontrado em rochas e minerais. A matéria orgânica libera N lentamente e a taxa é controlada pela atividade microbiana do solo (influenciada por temperatura, umidade, pH e textura).

Em geral, estima-se que para cada 1% de matéria orgânica do solo são disponibilizados cerca de 20 kg/ha de N. Um dos produtos da decomposição orgânica (mineralização) é o amônio, que pode ser retido pelo solo, absorvido pelas culturas ou convertido em nitrato. O nitrato é absorvido pelas plantas, lixiviado da zona radicular ou transformado em N gasoso e perdido para a atmosfera. A relação conceitual entre N indisponível para a planta (matéria orgânica) e N disponível para a planta (amônio e nitrato) e os efeitos da temperatura do solo são ilustrados nas **Figuras 1 e 2**.

Tabela 1. Utilização de nitrogênio pelas culturas.

Cultura	Para produtividade de	N absorvido	N removido
	(kg/ha)		
Alfafa ¹ (MS)	8.000	196	185
Algodão	680	82	44
Amendoim	1.814	114	64
Arroz	3.175	50	40
Batata	25.400	111	68
Capim coast-cross	8.000	167	167
Milho	4.000	73	49
Soja	1.630	133	88
Sorgo em grão	3.300	65	39
Tomate	40.000	102	45
Trigo de inverno	1.630	52	32
Trigo de primavera	1.630	60	40

¹ Leguminosas obtêm a maior parte de seu N do ar.

MS = base de matéria seca (0% umidade).

Para mais culturas, acesse: <http://ipni.info/nutrientremoval>



INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

AV. INDEPENDÊNCIA, 350, SALA 142, BAIRRO ALTO, 13419-160
PIRACICABA, SP, BRASIL

TELEFONE: (19) 3433-3254 | WEBSITE: <http://brasil.ipni.net>

TWITTER: @IPNIBRASIL; FACEBOOK: <https://www.facebook.com/IPNIBrasil>

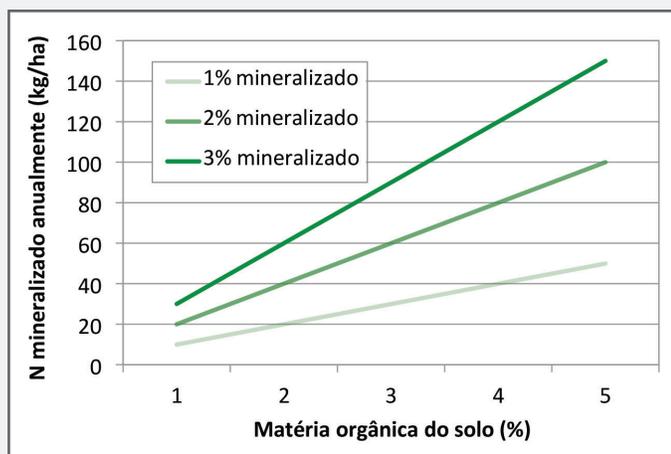


Figura 1. Exemplo conceitual da quantidade de N inorgânico liberada (mineralizada) da matéria orgânica do solo em três taxas de atividade microbiana.

A escolha de uma fonte de fertilizante nitrogenado

Como a maioria dos solos não pode fornecer quantidades suficientes de N para sustentar economicamente o crescimento ótimo e a qualidade da cultura, os fertilizantes comerciais são bastante usados para suplementar suas necessidades. Esterco, lodo de esgoto e outros resíduos que são fontes de N são aceitáveis também, quando disponíveis. Entretanto, essas fontes que não são fertilizantes concentrados em nutrientes podem ser de difícil manejo e seu transporte a longas distâncias pode não ser economicamente viável. A escolha da fonte correta de N deve basear-se em vários fatores, incluindo: disponibilidade, preço, cultura a ser adubada, época e métodos de aplicação, sistemas de cultivo e risco de perdas para fora do local. Para a nutrição da planta, o uso de N solúvel é o mesmo, independentemente se é proveniente de fertilizante ou de matéria orgânica. Todas as fontes de N necessitam cuidadoso manejo para o aproveitamento máximo de seu potencial. Isso por que, se não forem adequadamente manejadas, todas as fontes de N podem representar uma causa potencial de danos ambientais, incluindo acúmulo de nitrato em águas subterrâneas e superficiais.

Sintomas de deficiência de nitrogênio

O fornecimento adequado de N é geralmente visualizado, na maioria das plantas, como uma coloração verde escura nas folhas, decorrente do alto nível de clorofila. A deficiência resulta em amarelamento (clorose) de folhas por causa de teor de clorofila inadequado. Os sintomas de deficiência aparecem primeiramente em folhas mais velhas e, em seguida, se desenvolvem nas folhas mais jovens, à medida que a deficiência se torna mais severa. Outros sintomas de deficiência de N podem incluir:

- plantas atrofiadas e estioladas;
- menor perfilhamento em cereais;

Tabela 2. Médias de produtividade em resposta a doses de nitrogênio e população de plantas de milho.

População (plantas/ha)	Dose de N (t/ha)			
	0	90	180	270
	Produtividade (kg/ha)			
60.000	6,67	9,51	11,51	12,01
80.000	7,40	11,53	12,63	13,93

Fonte: Baseada em Primaz e outros (2015).

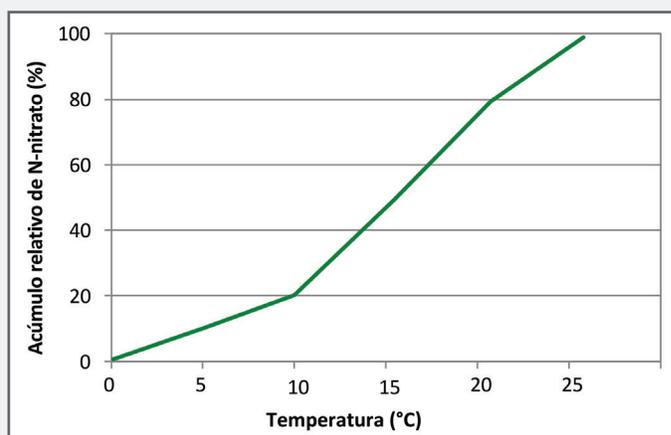


Figura 2. Influência da temperatura do solo sobre a taxa relativa de acúmulo de nitrato (nitritação) no solo em Illinois (Estados Unidos).

Fonte: Fernández e outros (2012. p. 125, tradução nossa).

- baixo teor de proteínas em sementes e partes vegetativas;
- menos folhas;
- maior suscetibilidade a estresses causados por clima, pragas e doenças.

Resposta das culturas a nitrogênio

A necessidade de adubação com N é mais comum do que com quaisquer outros nutrientes. A **Tabela 2** mostra como a produtividade de milho aumentou com a adição de fertilizante nitrogenado e maiores populações de planta. A adubação nitrogenada é mais rentável e ambientalmente correta quando usada em conjunto com outras boas práticas de manejo.

O manejo adequado de N, com base no princípio dos 4C, de uso da fonte certa, na dose certa, na época certa e no local certo, pode otimizar a produtividade e o retorno da cultura e, simultaneamente, reduzir os riscos de efeitos potencialmente negativos para o ambiente. O uso de altas doses de N pode acarretar problemas ambientais. Por outro lado, a adoção de doses reduzidas pode representar baixa produtividade, mas com aumento da eficiência de uso (**Tabela 3**).

Referências

- CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. In: SIMPÓSIO DE BOAS PRÁTICAS PARA USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES: nutrientes. 2009. Piracicaba. *Anais...* v. 2. PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (ed.). IPNI Brasil: Piracicaba, 2010. p. 1-65.
- FERNÁNDEZ, F. G.; EBELHAR, S. A.; NAFZIGER, E. D.; HOEFT, R. G. Managing nitrogen. In: UNIVERSITY OF ILLINOIS. *Illinois Agronomy Handbook*. Urbana: College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences, 2012. p. 113-132. Disponível em: <<http://extension.cropsciences.illinois.edu/handbook/pdfs/chapter09.pdf>>. Acesso em: 8 ago. 2016.
- PRIMAZ, E.; BALESTRIN, A. L.; CONTE, C. S.; JUNGES, R. C.; CAMILO, M.; TREVIZAN, K. Doses de nitrogênio e população de plantas na cultivar de milho DKB 240 PRO. *RAMVI*, Getúlio Vargas, v. 2, n. 3, 2015. Disponível em: <<http://www.ideau.com.br/getulio/anterior/index/27/RAMVI+30072015>>. Acesso em: 3 fev. 2017.

Tabela 3. Produtividade e eficiência de uso de nitrogênio na produção de milho de regiões representativas de alguns países.

País	Rendimento (t/ha)	Dose média de N (kg/ha)	Eficiência de uso (kg grãos/kg N)
Estados Unidos	9,2	157	58,4
Argentina	7,2	58	123,4
Brasil	4,9	48	101,7
China	5,0	198	26,1
França	8,3	163	50,8

Fonte: Modificada de Melgar e Daher (2007 citados por CANTARELLA; MONTEZANO, 2010, p. 28).

Fósforo

Nº 2

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

O fósforo (P) está presente em todas as células vivas, tanto nas plantas quanto nos animais. Nenhum outro nutriente pode substituí-lo quando está em falta. O P é um dos 17 nutrientes que as plantas necessitam para seu crescimento e reprodução. Também é considerado um dos três principais nutrientes, junto com nitrogênio (N) e potássio (K), os quais são denominados macronutrientes primários em decorrência das quantidades relativamente grandes usadas pelas plantas (**Tabela 1**) e da frequência com que sua deficiência limita o crescimento destas.

Tabela 1. Absorção e remoção de fósforo pelas culturas.

Cultura	Para produtividade de	P ₂ O ₅ absorvido	P ₂ O ₅ removido
	(kg/ha)		
Alfafa ¹ (MS)	8.000	44	44
Algodão	680	29	19
Amendoim	1.814	21	10
Arroz	3.175	27	21
Batata	25.400	48	34
Capim <i>coast-cross</i>	8.000	44	44
Milho	4.000	41	25
Soja	1.630	30	20
Sorgo em grão	3.300	38	23
Tomate	40.000	47	17
Trigo de inverno	1.630	19	13
Trigo de primavera	1.630	21	15

Nota: Para converter P₂O₅ em P, multiplicar por 0,4364.

MS = base de matéria seca (0% umidade).

Para mais culturas, acesse: <http://ipni.info/nutrientremoval>

O P deve ser adicionado ao solo quando seu fornecimento natural é muito baixo para a sustentação do crescimento adequado da planta.



FOTO IPNI SRINIVASAN

Plantas de milho deficientes em fósforo.

A manutenção de fornecimento adequado de P é essencial para que a planta fique saudável e alcance elevada produtividade.

Fósforo nas plantas

O P é um componente vital no processo de conversão da energia do sol em alimentos, fibras e óleos nas plantas. Desempenha papel fundamental na fotossíntese, no metabolismo de açúcares, no armazenamento e transferência de energia, na divisão celular, na expansão celular e transferência de informações genéticas.

O P também propicia o crescimento adequado das raízes e das brotações precoces, acelera a cobertura do solo protegendo-o contra erosão, aumenta a qualidade dos frutos, vegetais e culturas de grãos e é vital para a formação das sementes. O teor adequado de P na planta aumenta a eficiência de uso da água, melhora a eficiência de outros nutrientes, como o N, contribui para o aumento da resistência a doenças em algumas plantas, ajuda as plantas a suportar as baixas temperaturas e o estresse hídrico, acelera a maturidade das plantas e protege o ambiente em decorrência do melhor crescimento das plantas.

Fósforo nos solos

As raízes das plantas somente podem absorver P quando este está dissolvido na água do solo. Como a concentração de P no solo é muito baixa, o solo deve ser continuamente reabastecido com este nutriente a partir dos minerais e da matéria orgânica do



INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

AV. INDEPENDÊNCIA, 350, SALA 142, BAIRRO ALTO, 13419-160

PIRACICABA, SP, BRASIL

TELEFONE: (19) 3433-3254 | WEBSITE: <http://brasil.ipni.net>

TWITTER: @IPNIBRASIL; FACEBOOK: <https://www.facebook.com/IPNIBrasil>

solo para repor o P absorvido pelas plantas. As raízes das plantas geralmente absorvem P na forma de íons ortofosfato inorgânicos (HPO_4^{2-} ou H_2PO_4^-). O P presente na matéria orgânica do solo não se torna disponível para a absorção pelas plantas até que os micro-organismos convertam os compostos orgânicos em fosfatos inorgânicos simples.

Muitos fatores do solo afetam a disponibilidade de P para as plantas, incluindo o tipo e a quantidade de minerais de argila, a concentração de P, os fatores que afetam a atividade radicular (tais como aeração e compactação), o teor de umidade do solo, a temperatura, o fornecimento adequado de outros nutrientes para as plantas e as propriedades radiculares da cultura. Além disso, o pH do solo (ácido ou alcalino) influencia muito a disponibilidade de P para as plantas (Figura 1).

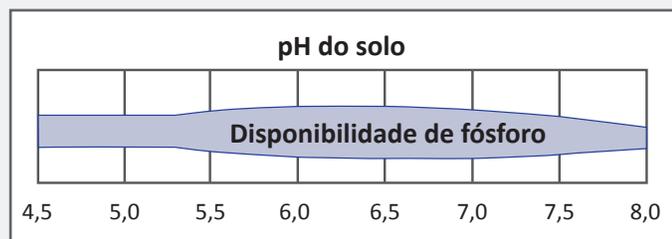


Figura 1. Efeitos do pH do solo na disponibilidade de fósforo para as plantas.

A presença do fungo micorrízico em associação com as raízes das plantas pode aumentar o volume de solo explorado e favorecer a absorção de P em muitas situações. Os fungos não fornecem P adicional para o solo, mas podem, em alguns casos, auxiliar na recuperação deste nutriente.

Adubação dos solos com fósforo

Poucos solos contêm adequado suprimento de todos os nutrientes minerais exigidos para o crescimento adequado das culturas. As análises de solo e planta podem ser usadas para avaliar se há necessidade de adubação suplementar com fertilizante contendo P.

Várias pesquisas já estabeleceram a relação entre as concentrações de P no solo e a necessidade de adicionar fertilizante contendo este nutriente para alcançar crescimento ótimo. Outros estudos também identificaram a concentração de P exigida pelos tecidos das plantas para sustentar seu crescimento adequado. Testes diagnósticos de solo e folha podem ser usados como guia para a tomada de decisão quanto à adubação. Em sistemas de cultivo nos quais mais P é removido do solo durante a colheita do que está sendo repostado, as concentrações deste nutriente no solo diminuirão gradualmente. Por outro lado, se mais P for adicionado do que removido, este nutriente será acumulado e suas concentrações no solo aumentarão.

O cuidadoso manejo do solo deve objetivar o uso de todos os nutrientes de plantas, incluindo P. Sem manejo adequado, concentrações excessivamente altas de P podem, algumas vezes, ter perdas indesejáveis, estimulando o crescimento de algas em águas superficiais. A minimização das perdas de P em terras agrícolas envolve cuidadoso manejo do solo, bem como atenção de modo a evitar o transporte do nutriente para os mananciais de água.

O P é adicionado ao solo de muitas formas, incluindo fertilizantes comerciais, resíduos ou esterco de animais, biossólidos, restos culturais ou outros subprodutos. A reciclagem do P a partir de resíduos vem sendo utilizada há séculos, mas as necessidades atuais deste nutriente na moderna produção de alimentos excedem em muito esses recursos orgânicos.

A indústria de fertilizantes contendo P foi desenvolvida no século XIX para melhor suprir as necessidades nutricionais das culturas e fornecer formas de P prontamente disponíveis que podem ser facilmente transportadas e aplicadas ao solo. O fosfato de rocha é minerado a partir de depósitos geológicos ao redor do mundo e processado em muitos tipos de fertilizantes sólidos e líquidos. Como ocorre com todos os minerais terrestres, o P deve ser manejado cuidadosamente para evitar resíduos e propiciar o uso deste recurso a longo prazo.

Antigamente, o P dos fertilizantes era expresso como P_2O_5 e esta notação é mantida até o presente. Como P_2O_5 contém somente 44% de P, esta notação, algumas vezes, pode causar confusão.

Os fertilizantes contendo P reagem quimicamente com os minerais do solo, o que gradualmente reduz sua solubilidade. A aplicação de P bem próximo do momento em que as culturas o utilizam pode melhorar sua absorção pelas plantas. Quando os fertilizantes contendo P são aplicados de forma localizada no solo, essas reações são retardadas. As condições de estresse ambiental que diminuem a disponibilidade de P para as plantas (como solos frios), podem ser contrabalançadas pela aplicação deste nutriente próximo das sementes (denominada adubação starter ou inicial), mesmo quando há disponibilidade de quantidades adequadas de P para o desenvolvimento da cultura naquela safra.

Sintomas de deficiência de fósforo

A primeira indicação de carência de P é, geralmente, a atrofia das plantas, que é difícil de diagnosticar. As folhas podem ficar deformadas. Em presença de deficiência severa, podem se desenvolver áreas necróticas em folhas, frutos e caules. As folhas mais velhas são afetadas antes das mais jovens por causa da redistribuição do P dentro da planta. Algumas plantas, como milho, podem apresentar coloração roxa ou avermelhada nas folhas mais baixas e nos caules quando o teor de P está baixo. Essa deficiência é associada com acúmulo de açúcares em plantas deficientes em P, especialmente durante épocas com baixas temperaturas. A carência de P pode reduzir a produtividade, a qualidade, o valor e a rentabilidade da cultura.

Resposta das culturas a fósforo

A adubação com P aumenta a produtividade e o lucro dos agricultores em muitos tipos de solo ao redor do mundo. Os dados da Figura 2 ilustram a importância do P para o aumento da produtividade da cultura, diminuindo os custos de produção por unidade e aumentando a rentabilidade da cultura.

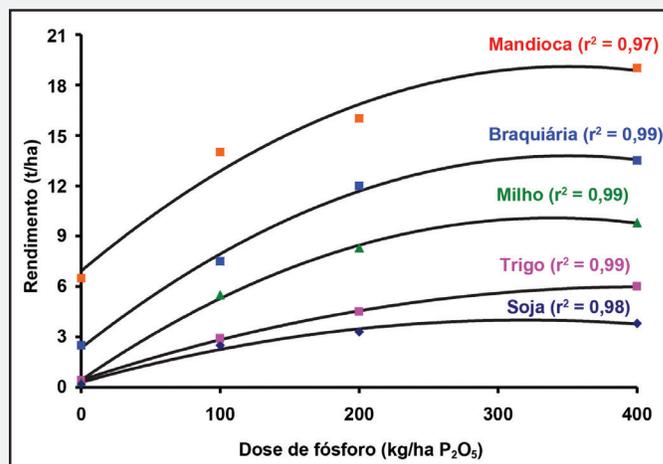


Figura 2. Respostas de algumas culturas a doses de fertilizantes fosfatados solúveis em água aplicados a lanço e incorporados em Latossolo argiloso do Cerrado, com disponibilidade de fósforo muito baixa.

Fonte: Baseada em Goedert e outros (1986, citados por SOUSA; LOBATO, 2004, p. 160).

Referência

SOUSA D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (ed.). *Fósforo na agricultura brasileira*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 157-200.

Leitura adicional

SHEN, J.; YUAN, L.; ZHANG, J.; LI, H.; BAI, Z.; CHEN, X.; ZHANG, W.; ZHANG, F. Phosphorus dynamics: from soil to plant. *Plant Physiology*, Bethesda, v. 156, no.3, p. 997-1005, 2011. doi: 10.1104/pp.111.175232

SYERS, J. K.; JOHNSTON, A. E.; CURTIN, D. *Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use*. Reconciling changing concepts of soil phosphorus behaviour with agronomic information. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008. (FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, 18). Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fpn18.pdf>. Acesso em 9 ago. 2016.

Potássio

Nº 3

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

O potássio (K) é absorvido pelas plantas em grandes quantidades, como o nitrogênio (N). Nas plantas, o K não faz parte de moléculas orgânicas complexas, mas se move livremente como um íon e desempenha variadas funções.

Potássio nas plantas

Nas plantas, o K está envolvido em várias funções essenciais, sendo usado para:

- regular a pressão osmótica nas células das plantas, o que afeta a extensão celular, a troca de gases e o movimento das folhas em resposta à luz;
- ativar enzimas que auxiliam na ocorrência de reações químicas;
- sintetizar proteínas;
- ajustar o pH dentro das células das plantas;
- aumentar a fixação de dióxido de carbono durante a fotossíntese;
- transportar compostos químicos;
- equilibrar cargas elétricas em várias partes das células.

A colheita das culturas remove K do solo. A quantidade removida varia com a quantidade de biomassa e o teor de K nos órgãos colhidos da planta (Tabela 1).

As plantas que são supridas com quantidades adequadas de K são capazes de resistir mais ao estresse climático e aos danos causados por pragas e doenças em comparação com plantas deficientes em K.

À medida que as plantas envelhecem, as chuvas lixiviam o K das folhas, depositando-o na superfície do solo. Portanto, as plantas reciclam o K das camadas subsuperficiais para a superfície do solo, em um processo denominado ciclagem. A ciclagem contribui para a estratificação do teor de K no solo, tanto em sistema plantio direto quanto em sistema de cultivo reduzido, e interfere na análise de solo em resposta às aplicações de K e exportação pelas culturas.

Potássio nos solos

As plantas somente absorvem o K quando este nutriente está dissolvido na solução do solo. Alguns fatores contribuintes para a disponibilidade de K para as plantas são:

- K redistribuído de outras áreas, incluindo: água de irrigação, precipitação, fertilizantes comerciais, esterco, biossólidos e deposição de sedimentos;

- intemperismo de minerais primários contendo K, como micas e alguns feldspatos;
- K liberado das camadas internas dos filossilicatos dos tipos illita, vermiculita e esmectita;
- desorção de K das superfícies e arestas dos filossilicatos, denominado "K trocável".

K trocável é medido pela análise de solo e é considerado prontamente disponível para as plantas. Os filossilicatos que liberam K também podem "fixar" este nutriente em posições entre as camadas, desta forma removendo-o da solução do solo. A fixação ou a liberação do K por esses minerais é dinâmica e ocorre o ano todo.

Tabela 1. Extração e exportação de potássio pelas culturas.

Cultura	Para produtividade de (t/ha)	K ₂ O ¹ (kg/ha)	
		Extração	Exportação
Alfafa (MS) ²	8	448	439
Algodão (fibra)	1,65	99,0	30,4
Arroz	3	74,0	10,8
Batata	25	294,5	162,5
Capim elefante (MS)	6	174,0	174,0
Milho (grão)	4	98	18
Milho (silagem, 67% umidade)	25	92,5	92,5
Soja	3	110,0	51,0
Sorgo	3	96,5	16,2
Trigo (primavera)	3	76,5	16,5

¹Para converter K₂O em K, multiplicar por 0,83.

²MS = matéria seca.

Para mais culturas, acesse: <http://ipni.info/calculator>.

Aducação dos solos com potássio

Os minerais de K são extraídos de fontes geológicas localizadas em várias regiões do mundo. As impurezas são removidas do minério e



INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

AV. INDEPENDÊNCIA, 350, SALA 142, BAIRRO ALTO, 13419-160
PIRACICABA, SP, BRASIL

TELEFONE: (19) 3433-3254 | WEBSITE: <http://brasil.ipni.net>

TWITTER: @IPNIBRASIL; FACEBOOK: <https://www.facebook.com/IPNIBrasil>

Tabela 2. Fertilizantes contendo potássio.

Fertilizante	Fórmula química	Concentração média (%)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	S
Fosfato monopotássico	KH ₂ PO ₄		52	34		
Cloreto de potássio (muriato de potássio)	KCl			60-62		
Hidróxido de potássio (solução)	KOH			45		
Nitrato de potássio	KNO ₃	13		44		
Tiosulfato de potássio	K ₂ S ₂ O ₃			25		17
Sulfato de potássio	K ₂ SO ₄			50		17
Sulfato de potássio e magnésio	K ₂ SO ₄ • 2Mg SO ₄			22	11	22

o K remanescente é transformado em uma variedade de fertilizantes modernos. O teor de K é historicamente expresso como K₂O, mesmo que os fertilizantes realmente não contenham este composto.

Fonte certa

A fonte mais comumente usada de fertilizante contendo K é o cloreto de potássio (KCl), também conhecido como muriato de potássio (Tabela 2). Os fertilizantes contendo K isentos de cloreto (Cl) são, algumas vezes, preferidos para aplicações em culturas sensíveis a este íon. O uso de fertilizantes compostos contendo cloreto, enxofre (S) e/ou magnésio (Mg) é adequado quando os suprimentos desses outros nutrientes no solo são limitantes. Os produtos líquidos ou sólidos altamente solúveis em água são usados para fertirrigação.

Dose certa

As doses recomendadas de aplicação de K são baseadas tanto na análise de solo quanto na exportação pelas culturas. As doses de manutenção são pouco superiores às quantidades de K exportadas e são usadas para elevar a fertilidade do solo.

Época certa

Se culturas sensíveis ao cloreto fizerem parte de uma rotação, os fertilizantes que contêm cloreto podem ser aplicados a culturas não sensíveis no início da rotação, propiciando o tempo necessário para que o cloreto se movimente para fora da zona radicular. Para situações em que outros nutrientes em um fertilizante composto são requeridos e as formas desses nutrientes são móveis nos solos, como cloreto e sulfato, as aplicações devem ser realizadas pouco antes ou durante a estação de cultivo.

Local certo

As fontes de K variam bastante em seu efeito na solução do solo (índice salino). Os fertilizantes com K e que possuem baixo valor de índice salino podem ser usados em maiores doses quando aplicados perto ou em contato direto com as sementes. A aplicação de K em faixas subsuperficiais pode trazer benefícios em comparação às aplicações a lanço quando a fertilidade do subsolo é mais baixa e em condições de seca.

Sintomas de deficiência de potássio

A deficiência de K retarda a taxa de crescimento das plantas. Em milho, por exemplo, a deficiência de K acarreta o atraso na polinização e na maturidade das espigas. As margens das folhas amarelecem e, eventualmente, morrem, e as folhas podem não se desenvolver completamente.



FOTO IPNI/EBELHAR

Plantas de milho com deficiência de potássio.

A redução na expansão das células encurta os internódios, causando a atrofia das plantas, o que pode resultar em maiores perdas na colheita.

Resposta das culturas a potássio

Quando os solos não fornecem a quantidade adequada de K, a adubação tem mais chances de propiciar respostas rentáveis da cultura. A Tabela 3 mostra que aplicações de doses elevadas e menos frequentes de fertilizantes com K podem ser tão eficientes quanto aplicações frequentes de doses baixas.

A colheita exporta quantidades variadas de K em função da cultura explorada. A reposição desse K é necessária para evitar a diminuição das reservas de nutrientes do solo a longo prazo. Há muitos e excelentes fertilizantes disponíveis para o fornecimento de K para o crescimento saudável das culturas.

Tabela 3. Produção acumulada de grãos (soja, milho e sorgo) e matéria seca de plantas de cobertura (aveia preta e ervilhaca) em resposta à aplicação de potássio em diferentes doses e épocas ao longo de 4 anos de experimento.

Dose aplicada de K ₂ O (kg/ha)	Produção acumulada (kg/ha)			
	Inicial ¹	Anual ²	Grãos	Planta de cobertura
0		0 + 0 + 0	38.179	20.947
		60 + 0 + 0	41.086	23.821
		60 + 60 + 0	42.832	25.252
		60 + 60 + 60	41.604	23.845
60		0 + 0 + 0	42.297	21.985
		60 + 0 + 0	44.724	24.157
		60 + 60 + 0	44.232	23.690
		60 + 60 + 60	46.010	23.856
120		0 + 0 + 0	43.297	22.613
		60 + 0 + 0	45.818	25.106
		60 + 60 + 0	45.178	22.850
		60 + 60 + 60	44.174	24.387
180		0 + 0 + 0	44.832	24.753
		60 + 0 + 0	45.348	25.724
		60 + 60 + 0	45.599	25.036
		60 + 60 + 60	46.444	25.374
CV (%)			3,60	3,59

¹Aplicação de K somente no início do experimento.

²Aplicação de K posterior anual.

Fonte: Baseada em Brunetto e outros (2005).

Referência

BRUNETTO G.; GATIBONI, L. C.; SANTOS, D. R.; SAGGIN, A.; KAMINSKI, J. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 565-571, 2005.

Enxofre

Nº 4

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS



FOTO IPNI SHARMA E KUMAR

Planta de milho deficiente em enxofre.

Na produção agrícola, o enxofre (S) é usado pelas plantas em quantidades suficientes para ser considerado o quarto nutriente mais requerido depois dos três macronutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). O S é encontrado naturalmente em depósitos próximos a vulcões e em vários depósitos do minério sulfureto. A principal fonte industrial vem da remoção do gás sulfeto de hidrogênio (HS) durante o processamento de combustível fóssil.

A adubação com S é cada vez mais comum devido às maiores exportações advindas de crescentes produtividades das culturas, que estão absorvendo e extraindo mais S do solo. Em decorrência da diminuição das emissões de S de fontes industriais e de transportes, a deposição deste nutriente a partir da atmosfera é muito mais baixa do que há algumas décadas. A manutenção de fornecimento adequado de S é essencial para sustentar culturas altamente produtivas, assim como para a nutrição animal e humana.

Enxofre nas plantas

O sulfato solúvel (SO_4^{2-}) é a fonte primária de nutrição de S para as plantas. Dentro da planta, o S é exigido para a síntese de proteínas. Esse nutriente auxilia na produção de sementes e da clorofila necessária para que as plantas realizem a fotossíntese. É um componente necessário de três aminoácidos (cisteína, metionina e cistina) requeridos para a síntese proteica. Também é exigido para a formação de nódulos nos pelos radiculares de leguminosas. Quando o trigo é cultivado em solos com baixos níveis de S disponível, isto resulta em qualidade mais baixa da proteína do grão, o que torna a farinha menos adequada para a produção de pães e massas.

Tanto S como N são necessários para a formação de proteínas e estão intimamente ligados. As culturas têm necessidades variadas de S em comparação com N e os produtos colhidos têm uma ampla gama de relações N:S nos produtos colhidos (**Tabela 1**). Por exemplo, o trigo tem necessidade relativamente baixa de S, com relação N:S de 16:1 nos grãos, ao passo que a canola apresenta alta necessidade de S, com relação N:S de 6:1 nas sementes.

O S está envolvido em uma série de compostos secundários nas plantas. Por exemplo, o sabor e o aroma característicos da cebola e do alho estão associados a compostos voláteis de S.

Tabela 1. Quantidade de enxofre (S) exportada por diferentes culturas em comparação com as exportações de N, P_2O_5 e K_2O .

Cultura	Para produtividade de (t/ha)	Quantidade exportada (kg/ha)				Relação N:S
		N	P_2O_5	K_2O	S	
Alfafa	8	208 ¹	48	200	21,6	10:1
Canola	3	96	48	24	15	6:1
Cevadilha	5	80	25	115	12,5	6:1
Gramma Bermuda	8	184	48	200	16	12:1
Milho	10	120	63	45	14	8:1
Soja	3	165 ¹	36	60	9,0	18:1
Trigo	3	57	24	14,5	5,1	11:1

¹Predominantemente, N é fixado via simbiótica por bactérias do gênero *Rhizobium* em nódulos radiculares.



INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

AV. INDEPENDÊNCIA, 350, SALA 142, BAIRRO ALTO, 13419-160
PIRACICABA, SP, BRASIL

TELEPHONE: (19) 3433-3254 | WEBSITE: <http://brasil.ipni.net>

TWITTER: @IPNIBRASIL; FACEBOOK: <https://www.facebook.com/IPNIBrasil>



FOTO IPNI SHARMA E KLUMAR

Folha de trigo deficiente em enxofre à esquerda e normal à direita.

Enxofre nos solos

A maior parte do S do solo é geralmente encontrada na matéria orgânica e nos restos culturais. Este nutriente está presente em uma variedade de compostos orgânicos que não estão disponíveis para a absorção pelas plantas até que sejam convertidos em sulfato solúvel. A velocidade na qual os micro-organismos do solo convertem esses compostos orgânicos de S é determinada por temperatura, umidade e outros fatores ambientais.

Apenas uma pequena fração do S total do solo é encontrada na forma de sulfato. O sulfato é, geralmente, solúvel e se move prontamente com a água do solo para as raízes, ou pode se mover para a região abaixo da zona radicular em áreas sujeitas a altas precipitações pluviométricas ou com excesso de irrigação.

Adubação dos solos com enxofre

Há inúmeras fontes de fertilizantes com S disponíveis para uso. Os fertilizantes contendo sulfato solúvel fornecem S imediatamente disponível para a nutrição das plantas. Os fertilizantes que contêm S elementar insolúvel necessitam conversão para sulfato antes que as raízes das plantas possam absorvê-lo. Bactérias comuns do solo (por exemplo, espécies de *Thiobacillus*) são responsáveis pela conversão de S elementar em sulfato, mas este processo pode levar de semanas a anos.

Condições favoráveis de temperatura do solo, umidade, pH e aeração aceleram essa conversão para sulfato. De modo semelhante, se as partículas de S elementar forem pequenas, isto aumentará a taxa de conversão.

Sintomas de deficiência de enxofre

As plantas não mobilizam S dos tecidos mais velhos para suprir as necessidades deste nutriente nos pontos de crescimento mais jovens. Assim que o sulfato é assimilado pelos compostos orgânicos, não mais se move dentro da planta. Por essa razão, os sintomas de deficiência de S aparecem na forma de clorose (amarelecimento) e são observados primeiramente nos tecidos jovens de folhas, raízes e botões florais.

Resposta das culturas a enxofre

As culturas frequentemente respondem bem à adubação com S, especialmente sob condições de baixa disponibilidade de sulfato no solo. A aplicação de S geralmente resulta em melhoria tanto da produtividade quanto da qualidade da cultura (Tabela 2). Isso é especialmente importante para culturas com altos requerimentos de S, como as que produzem sementes oleaginosas (soja e canola) e as culturas forrageiras. É possível prevenir perdas de produtividade se a deficiência de S for diagnosticada precocemente no ciclo de cultivo e se for prontamente aplicado fertilizante na forma de sulfato em cobertura. A atenção em relação à adubação com S tem se tornado mais importante em muitas áreas do mundo.

Referências

RHEINHEIMER, D. S.; RASCHE, J. W. A.; OSORIO FILHO, B. D.; SILVA, L. S. Resposta à aplicação e recuperação de enxofre em cultivos de casa de vegetação em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 363–371, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v37n2/a11v37n2.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2016.

Leitura complementar

MIKKELSEN, R.; NORTON, R. Soil and fertilizer sulfur. *Better Crops with Plant Food*, Atlanta, v. 97, no. 2, p. 7–9, 2013. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/632F03C99FACF37685257B7200550781/\\$FILE/BC%202013-2%20p7.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/632F03C99FACF37685257B7200550781/$FILE/BC%202013-2%20p7.pdf)>. Acesso em: 27 set. 2016.

NORTON, R.; MIKKELSEN, R.; JENSEN, T. Sulfur for plant nutrition. *Better Crops with Plant Food*, Atlanta, v. 97, no. 2, p. 10–12, 2013. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/A04D690D24FB9E6085257B7200552E54/\\$FILE/BC%202013-2%20p10.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/A04D690D24FB9E6085257B7200552E54/$FILE/BC%202013-2%20p10.pdf)>. Acesso em: 27 set. 2016.

Tabela 2. Disponibilidade de $S-SO_4^{2-}$ no solo e produção de matéria seca (MS) de canola e feijoeiro em resposta à aplicação de doses de enxofre em dois tipos de solo, em casa de vegetação.

Dose de $S-SO_4^{2-}$ (mg/vaso)	LVAd ¹		RQo ²	
	$S-SO_4^{2-}$ solo (mg/dm ³)	MS (g/vaso)	$S-SO_4^{2-}$ solo (mg/dm ³)	MS (g/vaso)
Canola				
0	12,4	8,7	1,9	3,1
55	13,3	13,1	3,6	4,7
110	17,2	16,8	3,3	6,9
220	26,7	15,5	4,2	6,2
Feijoeiro				
0	14,6	11,9	3,4	7,8
73,3	17,6	11,6	3,1	7,6
146,6	18,0	11,5	3,8	8,5
293,3	29,4	11,5	3,1	8,9

¹Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (LVAd).

²Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo).

Fonte: Baseada em Rheinheimer e outros (2007, p. 367).

Cálcio

Nº 5

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

A nutrição com cálcio (Ca) desempenha papel vital na produção de culturas comerciais. Além disso, normalmente, este elemento acompanha os corretivos agrícolas [CaCO_3 , Ca(OH)_2 , CaO], que têm por função adequar o pH do solo para o desenvolvimento das culturas.

Cálcio nas plantas

O Ca é classificado como um macronutriente secundário que é requerido em quantidades relativamente grandes pelas plantas na forma de Ca^{2+} . Em algumas espécies, a necessidade de Ca é maior do que a do macronutriente fósforo (P). A concentração crítica de Ca nas plantas oscila bastante, variando de cerca de 0,2% em capins, 1,0% a 1,25% nas folhas das frutíferas a até 2,0% nas folhas de algodão (PLANK; KISSEL, 2013). A quantidade de Ca extraída em função da produtividade de várias culturas é mostrada na **Tabela 1**.

O Ca desempenha papel fundamental na estrutura da parede celular e na integridade da membrana. Além de propiciar estabilidade à planta, as paredes celulares fortes auxiliam na prevenção de invasão por inúmeros fungos e bactérias. O Ca também promove adequada elongação das células da planta, participa de processos enzimáticos e hormonais e desempenha papel nos processos de absorção de outros nutrientes.

Cálcio nos solos

A quantidade total de Ca normalmente varia de 0,7% a 1,5% em solos temperados não calcários. Solos tropicais altamente intemperizados têm, tipicamente, teor mais baixo de Ca, variando de 0,1% a 0,3%, ao passo que solos calcários podem conter até 25% de Ca. Embora possa haver toneladas de Ca total na zona radicular, é comum haver menos do que 45 kg de Ca realmente solúvel. A solubilidade do Ca depende de vários fatores do solo, incluindo:

- pH do solo – solos com maior pH tipicamente contêm mais Ca disponível em sítios de troca de cátions;
- Capacidade de troca de cátions (CTC) – o Ca disponível é afetado tanto pela CTC do solo quanto pela saturação de Ca nos sítios de troca de cátions do solo;
- Presença de outros cátions no solo – o Ca é preferencialmente adsorvido nos sítios de troca de cátions. Sua solubilidade e disponibilidade para a planta são influenciadas por outros cátions no solo.

Tabela 1. Extração de cálcio em função da produtividade de várias culturas.

Cultura	Para produtividade de (kg)	Absorção de Ca (kg)
Alfafa	8.000	78,7
Algodão	680	6,3
Amendoim	1.814	9,0
Arroz	3.175	9,0
Gramma bermuda	8.000	23,4
Laranja	24.000	36,0
Milho	4.000	22,0
Soja	1.630	11,7
Sorgo em grão	3.300	27,0
Tomate	40.000	13,5
Trigo	1.630	7,2

Fonte: Baseada em IPNI (2006).

O Ca tem grande influência nas propriedades do solo, especialmente porque previne a dispersão de argila. O fornecimento abundante de Ca pode auxiliar na redução do encrostamento e da compactação do solo, levando à melhora da percolação da água e à redução do escoamento superficial.

Adubação com cálcio

Nas formulações de fertilizantes, não é adicionada nenhuma fonte de Ca para atender as exigências deste nutriente pelas plantas, mas sim como componente de outros materiais. As fontes mais comuns de Ca são materiais usados para calagem, principalmente CaCO_3 . A maioria dos solos ácidos que receberam calagem até atingir pH adequado não apresentará problemas nutricionais de Ca. O Ca é geralmente fornecido na forma de gesso como corretivo para melhorar as propriedades químicas ou físicas do solo.

As argilas podem se dispersar em solos com alto teor de sódio (Na), resultando em estrutura pobre do solo e reduzida permeabilidade à água. A adição de Ca repõe Na^+ nos sítios de troca de cátions e corrige problemas de dispersão de argila. O Ca é um componente de vários materiais comuns usados como fertilizantes nitrogenados e fosfatados (**Tabela 2**).



M.K. Sharma



http://gardenjournal.com/wordpress.com



http://crisasantos.com.br



http://ucanr.edu



IPN2011CS103-1389/M.K. SHARMA E P. RUMAR

A **podridão apical** de tomate e pimentão pode ocorrer quando pouco Ca se move com o fluxo transpiracional para o ápice dos frutos.

Bitter pit se desenvolve em maçãs com baixos teores de Ca.

A **queima das pontas** em alface romana está associada com baixa absorção de Ca.

O **desenvolvimento atrofiado** do ponto de crescimento do milho é causado por deficiência de Ca.

Tabela 2. Fontes comuns de fertilizantes contendo cálcio.

Fonte	Teor de Ca (%)
Calcário calcítico (CaCO ₃)	22 a 35
Cloreto de cálcio (CaCl ₂)	36
Gesso (CaSO ₄ · 2H ₂ O)	22
Nitrato de cálcio [Ca(NO ₃) ₂]	19
Silicato de cálcio	2 a 5
Superfosfato simples	18 a 20
Superfosfato triplo [Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O]	7 a 12
Termofosfato magnésiano	20

Os fertilizantes contendo Ca são geralmente aplicados diretamente no solo, mas aplicações foliares também são comuns para frutas e vegetais. As aplicações foliares são feitas durante o ciclo de cultivo para corrigir deficiências e melhoram a qualidade da cultura. Os fertilizantes contendo Ca solúvel são algumas vezes aplicados através do sistema de irrigação.

Sintomas de deficiência de cálcio

As deficiências de Ca não são comuns na maioria das culturas, mas podem ocorrer em solos ácidos. Essas deficiências ocorrem em algumas culturas hortícolas, quando Ca não é adequadamente suprido para as células da planta em desenvolvimento em decorrência de absorção restrita ou movimento dentro da planta. O Ca não se move dos tecidos mais velhos da planta e nem é redistribuído; portanto, os tecidos jovens contam com o contínuo fornecimento de Ca pelo fluxo transpiracional. Como a transpiração é baixa em folhas jovens, frutos e tecidos internos, podem ocorrer várias desordens relacionadas com este nutriente.

A deficiência de Ca ocorre tipicamente:

1. Em folhas jovens em expansão (queima das pontas em alface);
2. Em tecidos internos (coração negro em aipo);
3. Em tecidos das plantas alimentados principalmente pelo floema (podridão apical em tomate, pimentão, melancia; bitter pit em maçãs; vagem chocha em amendoim).

Outros sintomas associados com a deficiência de Ca são:

1. Desenvolvimento anormal dos pontos de crescimento (meristema apical);
2. Folhas anormalmente verde escuras;
3. Queda prematura de flores e botões;
4. Caules enfraquecidos.

Resposta das culturas a cálcio

Como ocorre com todos os nutrientes de plantas, quando as concentrações de Ca solúvel no solo caem abaixo do nível crítico, é provável que as culturas respondam favoravelmente à aplicação de fertilizantes. A absorção de Ca ocorre principalmente na ponta da raiz; portanto, condições que causam danos à saúde das raízes também prejudicarão a absorção deste nutriente. Dado que a maioria dos solos tem a presença de Ca, as respostas favoráveis da cultura são geralmente decorrentes de melhoras no fornecimento deste nutriente para folhas e frutos em desenvolvimento (**Tabela 3**) ou como resultado de melhoras nas condições físicas do solo (**Figura 1**). As recomendações locais devem ser verificadas antes da adoção de quaisquer técnicas para estimular o

aumento das concentrações de Ca nas folhas e frutos que podem estar carentes de adequado fornecimento deste nutriente.

Tabela 3. Aumento da concentração de cálcio em maçãs em decorrência de tratamento foliar ou aplicação no solo em comparação com maçãs não tratadas.

Tratamento	Aumento da concentração de Ca no fruto (ppm)
8 aplicações foliares (25 kg/ha)	45
5 aplicações foliares (13,5 kg/ha)	25
2 aplicações foliares (5,5 kg/ha)	10
Gesso no solo (493 kg/ha)	12

Todas as aplicações foliares foram feitas com CaCl₂ diluído para uma concentração final de 2.806 L/ha. Maçãs com baixas concentrações de Ca podem ser suscetíveis a *cork spot* e *bitter pit*, resultando em frutos não comercializáveis.

Fonte: Autio e Bramlage (2012, p. 2, tradução nossa).

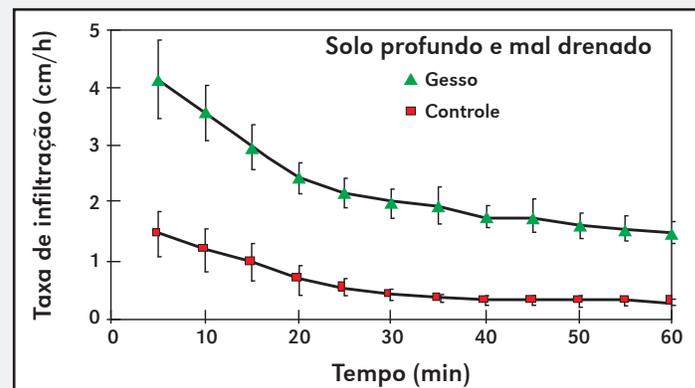


Figura 1. Taxa de infiltração em solo profundo e mal drenado com e sem aplicação superficial de gesso. O gesso pode ser usado como corretivo do solo para melhorar tanto as suas propriedades físicas como a infiltração e a percolação da água.

Fonte: Chen e Dick (2011, p. 9, tradução nossa).

Referências

- AUTIO, W. R.; BRAMLAGE, W. J. *Foliar calcium sprays for apples*. Dartmouth: University of Massachusetts, 2012. (UMass Extension Factsheet F-119R). Disponível em: <<https://ag.umass.edu/sites/ag.umass.edu/files/fact-sheets/pdf/folcalcium.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2016.
- CHEN, L.; DICK, W. A. *Gypsum as an agricultural amendment: general use guidelines*. Columbus: Ohio State University, 2011. (Ohio State University Bulletin 945). Disponível em: <<http://fabe.osu.edu/sites/fabe/files/imce/files/Soybean/Gypsum%20Bulletin.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2016.
- IPNI. International Plant Nutrition Institute. *Soil fertility manual*. Norcross: International Plant Nutrition Institute, 2006.
- PLANK, C. O.; KISSEL, D. E. *Plant analysis handbook for Georgia*. Athens: University of Georgia, Agricultural & Environmental Services Laboratories, 2010. Disponível em: <<http://aesl.ces.uga.edu/publications/plant/default.asp>>. Acesso em: 19 ago. 2016.

Leitura adicional

- FREITAS, S. T.; MITCHAM, E. J. Factors involved in fruit calcium deficiency disorders. *Horticultural Reviews*, New York, v. 40, p. 107-146, 2012. Disponível em: <<http://ucanr.edu/datastoreFiles/234-2441.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2016. doi: 10.1002/9781118351871.ch3

Magnésio

Nº 6

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

O magnésio (Mg) é um macronutriente absorvido pelas plantas em quantidades semelhantes ao fósforo (P).

Magnésio nas plantas

Nas plantas, o Mg é essencial para muitas funções, pois:

- Aciona (catalisa) a produção de clorofila, sendo o átomo central de sua molécula;
- Desempenha papel como um componente dos ribossomos, as “fábricas” que sintetizam as proteínas nas células;
- Estabiliza certas estruturas dos ácidos nucleicos, as moléculas que transferem informações genéticas quando novas células são formadas;
- Ativa ou promove a atividade de enzimas, que são moléculas com formatos específicos requeridos para acionar certas reações químicas necessárias para o crescimento e o desenvolvimento adequados das plantas;
- Desempenha papel como um elemento essencial para gerar trifosfato de adenosina (ATP), uma “bateria” que armazena energia na planta;
- Assegura que os carboidratos produzidos nas folhas sejam exportados para outros órgãos da planta. Os carboidratos são usados nas plantas para energia e estrutura.

Magnésio nos solos

As plantas apenas têm acesso ao Mg da solução do solo. Os fatores que contribuem para a demanda deste Mg são:

- Mg importado de outras áreas, incluindo: água de irrigação, fertilizantes comerciais, esterco, biossólidos e deposição de sedimentos;
- Intemperismo de minerais primários e secundários contendo Mg, como certos tipos de anfibólios, biotita, clorita, dolomita, granadas, olivina, magnesita, flogopita, alguns piroxênios, serpentinas, talco e turmalina;
- Liberação das camadas internas dos filossilicatos clorita, esmectita e vermiculita;
- Liberação (dessorção) de superfícies e arestas dos filossilicatos, o que é denominado “Mg trocável”.

Mg trocável e Mg da solução do solo são as formas deste nutriente medidas pelas análises de solo e são consideradas prontamente disponíveis para as plantas.

Os minerais contendo Mg são mais solúveis em solos ácidos (pH < 7). Em solos arenosos com baixo número de sítios de troca (baixa capacidade de troca de cátions), o Mg dissolvido pode se mover abaixo da zona radicular porque não há arestas e superfícies dos filossilicatos suficientes para retê-lo nos níveis mais superficiais do solo. Portanto, os níveis de Mg trocável em solos ácidos arenosos podem ser muito baixos para satisfazer as necessidades nutricionais da planta.

Quando as raízes das plantas absorvem água, a água localizada a grande distância se move para as raízes para repor aquela absorvida. O magnésio que está dissolvido na solução do solo se move com essa água. Esse processo, denominado fluxo de massa, é responsável por manter a planta suprida com Mg.

Aducação de solos com magnésio

A adubação de solos com Mg é necessária quando estes não são capazes de fornecer quantidades suficientes deste nutriente para satisfazer as necessidades das culturas. A análise de solo é usada para avaliar o suprimento de Mg no solo que está disponível para as plantas.

Muitos outros nutrientes podem competir com o Mg em sua absorção pela cultura. Em solos ácidos, o alumínio (Al), o íon hidrônio (H⁺) e o manganês (Mn) podem reduzir a absorção de Mg pelas plantas. Em solos básicos, o cálcio (Ca) e o sódio (Na) competem com o Mg em absorção. Quando maiores quantidades de nitrogênio (N) na forma de amônio (NH₄⁺) são aplicadas, tanto como fertilizante quanto como esterco, os teores de Mg nas plantas podem ser mais baixos. O mesmo efeito ocorre quando maiores quantidades de potássio (K) são aplicadas ou quando os solos naturalmente têm alto teor de K. A competição tem maior probabilidade de ocorrer quando os níveis de Mg no solo são baixos.

Há disponibilidade de vários fertilizantes que são fontes de Mg. Na **Tabela 1**, apresentam-se algumas dessas fontes e suas concentrações médias de Mg, que variam de 6% a 56%. A dolomita é mais comumente utilizada para corrigir deficiências de Mg e, simultaneamente, aumentar o pH do solo em solos ácidos.



INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

AV. INDEPENDÊNCIA, 350, SALA 142, BAIRRO ALTO, 13419-160
PIRACICABA, SP, BRASIL

TELEPHONE: (19) 3433-3254 | WEBSITE: <http://brasil.ipni.net>

TWITTER: @IPNIBRASIL; FACEBOOK: <https://www.facebook.com/IPNIBrasil>



FOTO IPNI FRANCISCO.



FOTO IPNI WITT.



FOTO IPNI HAGSTROM.



FOTO IPNI C.H.S. RAO.

Deficiência de magnésio (sentido horário, começando no topo à esquerda) em soja, milho, uva e algodão. Comumente, se inicia como clorose internerval nas margens das folhas, se espalhando em direção ao centro da folha à medida que a deficiência torna-se mais severa. Os tecidos se tornam amarelo brilhantes entre as nervuras e, finalmente, podem tornar-se vermelho-arroxeados das bordas externas da folha para o centro.

As aplicações de Mg tanto no solo quanto foliares podem ser recomendadas, dependendo da cultura a ser cultivada, do estágio de crescimento e quando a deficiência deste nutriente for diagnosticada. Algumas vezes, são recomendadas aplicações foliares para culturas forrageiras, quando as concentrações de Mg nos tecidos das plantas estão muito baixas para a nutrição animal, o que pode levar a tetania das pastagens ou hipomagnesemia. As aplicações foliares devem ser repetidas frequentemente, pois o Mg é demandado em grandes quantidades pelas plantas

Tabela 1. Fontes comerciais de fertilizantes contendo Mg.

Fertilizante	Fórmula química	Concentração de Mg (%)
Cloreto de magnésio	MgCl ₂	25
Dolomita	MgCO ₃ · CaCO ₃	6–20
Estruvita	MgNH ₄ PO ₄ · 6H ₂ O	10
Kieserita	MgSO ₄ · H ₂ O	17
Magnesita	MgCO ₃	29
Nitrato de magnésio	Mg(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	9
Óxido de magnésio	MgO	56
Sulfato de magnésio	MgSO ₄ · 7H ₂ O	9
Sulfato de magnésio e potássio	2MgSO ₄ · K ₂ SO ₄	11
Termofosfato magnésiano		7–9

Fonte: Baseada em Mikkelsen (2010, tradução nossa).

Sintomas de deficiência de magnésio

Quando as plantas não têm Mg suficiente, um importante processo é inibido. Durante a fotossíntese, são produzidos carboidratos. A planta usa esses carboidratos como fonte de energia e também para a formação de sua estrutura. Quando o Mg está deficiente, o movimento dos carboidratos das folhas para outras partes da planta fica mais lento. Isso resulta em redução de crescimento de outros órgãos da planta, como raízes e partes reprodutivas que são colhidas. A redução do crescimento das raízes pode inibir a absorção de outros nutrientes que a planta necessita, causando uma cascata de problemas nutricionais. Adicionalmente, o acúmulo de carboidratos nas folhas sinaliza para a planta que esta deve desacelerar a

fotossíntese e produzir menos carboidratos, exatamente o oposto do que uma planta em crescimento precisa. Plantas atrofiadas e sistemas radiculares menores são resultado disso. A inibição da fotossíntese produz amarelecimento internerval nas folhas, geralmente mais acentuado nas folhas mais velhas.

Resposta das culturas a magnésio

Quando as plantas estão deficientes em Mg, a adição deste nutriente resultará em aumento das concentrações de Mg nos tecidos das plantas e também poderá levar a aumentos de crescimento e produtividade. A relação Mg:K:Ca nos tecidos das plantas pode ser uma questão importante para forrageiras. A **Tabela 2** apresenta um exemplo de resposta da cultura à adubação com Mg. Sorgo granífero foi cultivado em um solo ácido franco-arenoso com baixo teor de Mg. A adição desse nutriente aumentou a produtividade de grãos de sorgo entre 15% e 29%, dependendo das doses aplicadas. Os resultados apresentados na **Tabela 2** são as médias de três diferentes híbridos e três anos de estudo. Esse estudo reforça o conceito de que o Mg é um nutriente exigido para o adequado crescimento da planta.

Tabela 2. Produtividade de sorgo granífero em resposta à adubação com magnésio.

Adubação com Mg (kg/ha)	Produtividade média de grãos (kg/ha)	Aumento de produtividade (%)
0	5.044	-
17	5.784	15
34	5.784	15
50	6.322	25
67	6.523	29

Fonte: Gallaher e outros (1975, tradução nossa).

Referências

- GALLAHER, R. N.; HARRIS, H. B.; ANDERSON, O. E.; DOBSON, J. W. Hybrid grain sorghum response to magnesium fertilization. *Agronomy Journal*, Madison, v. 67, no. 3, p. 297–300, 1975. doi: 10.2134/agronj1975.00021962006700030005x
- MIKKELSEN, R. Soil and fertilizer magnesium. *Better Crops*, Peachtree Corners, v. 94, no. 2, p. 26–28, 2010. Disponível em: <<http://www.iaap-aggregates.org/Agilime/Soil%20and%20Fertilizer%20Magnesium.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

Leitura adicional

- GERENDÁS, J.; H. FÜHR. The significance of magnesium for crop quality. *Plant and Soil*, The Hague, v. 368, no. 1–2, p. 101–128, 2013. doi: 10.1007/s11104-012-1555-2

Boro

Nº 7

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

Nos últimos 80 anos, centenas de estudos documentaram o papel fundamental do boro (B) em culturas agrícolas no mundo todo. Assim, foram registradas respostas à adubação em solos de diferentes regiões do mundo. A alfafa frequentemente responde à adubação com este nutriente, assim como grande número de frutas, hortaliças e culturas em geral.

Boro nas plantas

A essencialidade do B para as plantas superiores foi reconhecida em 1923. Este nutriente também é considerado fundamental para samambaias e algumas algas.

O B exerce seu papel principal nas ligações químicas entre os polissacarídeos para dar estrutura às paredes celulares. Este nutriente também desempenha papéis na formação de complexos com açúcares para a translocação dentro das plantas e na formação de proteínas. A função da membrana celular, a formação dos nódulos, a floração e o desenvolvimento de frutos e sementes dependem do adequado fornecimento de B. A deficiência deste nutriente pode reduzir tanto a produtividade quanto a qualidade das culturas. O início da floração e o desenvolvimento do pólen também necessitam de quantidades adequadas de B.

Boro nos solos

A concentração total de B em solos agricultáveis varia de 1 a 467 mg/kg. As formas disponíveis, $B(OH)_3$ e $B(OH)_4^-$, são geralmente móveis na solução do solo, mas podem ser adsorvidas aos constituintes do solo, incluindo hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), partículas de argila e matéria orgânica. Vários fatores influenciam a disponibilidade de B no solo:

Matéria orgânica: é o mais importante reservatório de B no solo. Em clima quente e seco, há diminuição da decomposição da matéria orgânica no horizonte superficial do solo, onde se encontra a maior parte deste nutriente. Isso pode levar à deficiência de B. Em clima frio, a decomposição da matéria orgânica também é diminuída, e a baixa liberação de B afeta as brássicas (couve-de-bruxelas, rabanetes) e outras espécies.

Condições climáticas: clima seco e frio restringe a atividade radicular na superfície do solo e pode causar carências temporárias de B. Os sintomas de deficiência podem desaparecer assim que a superfície do solo receber as chuvas.

O crescimento radicular é retomado, mas a produtividade potencial geralmente diminui em decorrência da carência temporária de B.

pH do solo: a disponibilidade de B para as plantas é maior entre pH 5,0 e 7,5. Em valores abaixo ou acima desses, a absorção deste nutriente é reduzida. Em locais onde a calagem é necessária, deve-se dispor de métodos adequados para manter o pH do solo na faixa ideal visando a adequada nutrição com B e outros nutrientes das plantas. O efeito do pH do solo sobre a disponibilidade de B pode ser claramente visualizado na **Figura 1**.

Textura do solo: solos arenosos, que são compostos em grande parte de quartzo, tipicamente têm baixos teores de minerais que contêm B. As plantas que crescem em tais solos comumente apresentam deficiências deste nutriente.

Lixiviação: o B disponível para as plantas é móvel no solo e sujeito à lixiviação. A lixiviação de B da zona radicular causa grande preocupação em solos arenosos e/ou em áreas com alta precipitação pluviométrica.

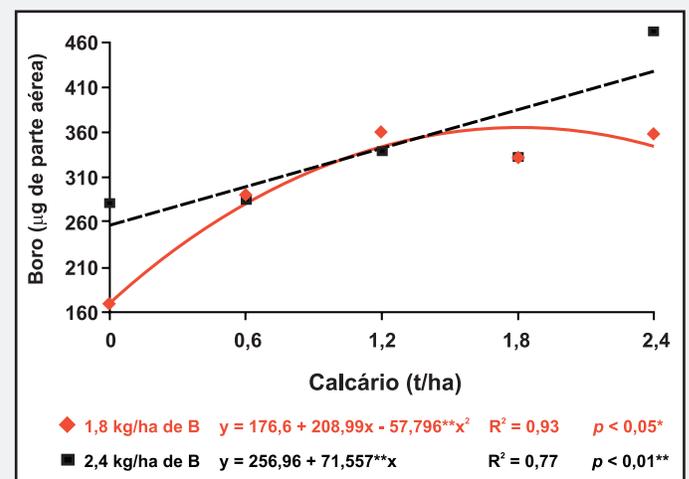


Figura 1. Acúmulo de boro na parte aérea de plantas de feijoeiro como resposta à aplicação de doses de calcário e boro.

Fonte: Souza e outros (2011, p. 255).

Adubação com boro

É importante que os fertilizantes contendo B sejam adequadamente aplicados por causa da pequena variação entre deficiência e toxicidade.



FOTO RONALDO L.V.A. SILVEIRA, RR AGRIFLORESTAL.

Para o diagnóstico da necessidade de adubação com B, devem ser considerados os fatores citados anteriormente para controlar sua disponibilidade no solo. As análises do solo e da planta e os sintomas visuais geralmente são muito úteis como ferramentas diagnósticas da necessidade de aplicação deste nutriente.

Os fertilizantes contendo B podem ser aplicados ao solo a lanço ou em faixas, ou mesmo

Seca do ponteiro em *Eucalyptus grandis*.

aplicados via foliar na forma líquida. A aplicação a lanço necessita maiores taxas do que em faixas ou foliar. As taxas de aplicação ao solo para culturas responsivas podem ser de 3 kg/ha de B, enquanto para culturas com respostas baixa e média, de 0,5 a 1,0 kg/ha (Tabela 1). Formas comuns de fertilizantes contendo B são mostradas na Tabela 2. As formas solúveis são geralmente preferidas, exceto em solos arenosos, nos quais as formas menos solúveis são menos suscetíveis à lixiviação.

Tabela 1. Responsividade das culturas a boro.

Muito responsivas	Medianamente responsivas	Pouco responsivas
Aipo	Alface	Cebola
Alfafa	Brócolis	Centeio
Algodão	Cacau	Cevada
Alho	Cenoura	Citros
Amendoim	Colza	Feijões
Batata	Espinafre	Frutíferas de baga
Beterraba	Mamão	Gramíneas forrageiras
Café	Milho	Pepino
Couve	Rabanete	Soja
Eucalipto	Repolho	
Girassol	Tomate	
Maçã	Trigo	
Nabo	Uva	

Tabela 2. Formas comuns de fertilizantes contendo boro.

Fonte	Fórmula	B (%)
Bórax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11
Ácido bórico	$\text{B}(\text{OH})_3$	17
Pentaborato de sódio	$\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	18
Ulexita	$\text{Na}_2\text{CaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	8–15
Solubor®	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	20–21
Colemanita	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	10

Solubor® marca registrada de U.S. Borax Inc.

Tabela 3. Produtividade de algumas culturas em resposta à aplicação de fertilizante contendo boro.

Cultura	Fonte	Taxa	Época	Aplicação	Resposta em produtividade (%)	Referência
Soja	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0,275–1,1 kg/ha	V2 ou R2	Foliar	0–130	Ross e outros (2006)
Alfafa semente	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0,450–1,25 kg/ha	Após primeiro corte	Foliar	37	Dordas (2006)
Alfafa forrageira	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	3,4–4,5 kg/ha	Anual	Solo	46–62	Haby e outros (1998)
Cereja azeda	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	500 mg/L	Set-out	Foliar	0–100	Hanson (1991)

Sintomas de deficiência de boro

Embora o B seja móvel no solo, sua mobilidade dentro da planta varia entre espécies. As deficiências de boro tendem a aparecer nas folhas mais jovens ou nos pontos de crescimento. Em certas espécies (tais como maçãs e amêndoas), o B é móvel e se move através de toda a planta.

Os seguintes sintomas de deficiência de B ocorrem em culturas específicas:

Algodão: os pecíolos das folhas apresentam anéis ou faixas, com morte progressiva do meristema apical, causando efeito de roseta na parte superior da planta, os botões florais se rompem e as folhas ficam verdes e espessas, permanecendo verdes até o inverno, sendo difíceis de desfolhar.

Amendoim: coração oco.

Caná-de-açúcar: estrias cloróticas e aquosas no espaço internerval de folhas jovens, evoluindo para necrose e crescimento irregular do limbo foliar causando enrugamento.

Eucalipto: clorose e manchas necróticas nas folhas, morte dos ponteiros, fendilhamento da casca e exsudação de goma.

Maçã: os frutos são pequenos, achatados ou deformados, com cortiça na parte interna, rachaduras e rugosidades, ocorre morte do meristema apical, as folhas ficam quebradiças e as flores secam.

Milho: aparecimento de listas longitudinais estreitas de coloração branca a transparente nas folhas, produção de múltiplas espigas, mas pequenas e anormais, com cabelos muito curtos, os pendões são pequenos e alguns deles emergem mortos, e as anteras são pequenas, enrugadas e desprovidas de pólen.

Soja: clorose internerval nas folhas jovens e pontas curvadas para baixo, morte dos ponteiros, inibição do florescimento e paralização do crescimento radicular.

Tomate: frutos com lóculo aberto, coloração castanha em seu interior e amadurecimento irregular.

Sintomas de toxicidade de boro

O acúmulo tóxico de B ocorre em muitas regiões áridas. A adição de quantidades extras de água de irrigação lixiviara o B solúvel para uma região abaixo da zona radicular. Os sintomas de toxicidade deste nutriente aparecem primeiro nas bordas e pontas das folhas mais velhas.

Resposta das culturas a boro

As culturas apresentam variação significativa em sua responsividade a este nutriente (Tabelas 1 e 3). A maioria das leguminosas, assim como vários frutos e hortaliças, são altamente responsivos a B. Outras hortaliças mostraram respostas um pouco menores. Os grãos e as gramíneas são geralmente menos responsivos a este nutriente. As culturas também apresentam variação em sensibilidade ao excesso de B, e aquelas com altas necessidades nem sempre têm tolerância alta. Por exemplo, alfafa e repolho são apenas semitolerantes a altos níveis de B.

Referências

- ROSS, J. R.; SLATON, N. A.; BRYE, K. R.; DELONG, R. E. Boron fertilization influences on soybean yield and leaf and seed boron concentrations. *Agronomy Journal*, Madison, v. 98, no. 1, p. 198–205, 2006. doi: 10.2134/agronj2005-0131
- DORDAS, C. Foliar boron application improves seed set, seed yield, and seed quality of alfalfa. *Agronomy Journal*, Madison, v. 98, no. 4, p. 907–913, 2006. doi: 10.2134/agronj2005.0353
- HABY, V.; DAVIS, J. V.; LEONARD, A. Alfalfa response to boron at variable soil pH on coastal plain soils. *Better Crops with Plant Food*, Atlanta, v. 82, no. 1, p. 22–23, 1998.
- HANSON, E. J. Sour cherry trees respond to foliar boron applications. *HortScience*, Virginia, v. 26, no. 9, p. 1142–1145, 1991.
- SOUZA, H. A.; NATALE, W.; ROZANE, D. E.; HERNANDES, A.; ROMUALDO, L. M. Calagem e adubação boratada na produção de feijoeiro. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 249–257, 2011.

Leitura adicional

- BROWN, P. H.; BELLALOU, N.; WIMMER, M. A.; BASSIL, E. S.; RUIZ, J.; HU, H.; PFEFFER, H.; DANDEL, F.; RÖMHELD, V. Boron in plant biology. *Plant Biology*, Stuttgart, v. 4, no. 2, p. 205–223, 2002.

Zinco

Nº 8

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

Embora o zinco (Zn) seja um micronutriente e exigido em quantidades muito pequenas pelas plantas, a deficiência deste elemento nas culturas é generalizada no mundo todo. Baixos teores deste nutriente em culturas alimentícias contribuem para a deficiência de Zn em aproximadamente 30% das dietas humanas. Com a população mundial em contínua expansão, é extremamente importante dar atenção à fertilização das culturas alimentícias com Zn.

Zinco nas plantas

O Zn é requerido em quantidades muito pequenas pelas plantas. A concentração normal de Zn na maioria das plantas varia entre 20 ppm e 100 ppm. A remoção deste nutriente nas partes colhidas da maioria das culturas é menor do que 0,56 kg/ha. Entretanto, essa pequena quantidade de Zn desempenha papel fundamental nas plantas como cofator de enzimas e componente estrutural em proteínas. Alguns importantes processos bioquímicos afetados pelo Zn nas plantas incluem síntese de proteínas, regulação de hormônios e produção de energia.

Zinco nos solos

A quantidade total de Zn nos solos atinge, em média, cerca de 50 ppm, variando de 10 ppm a 300 ppm, dependendo da composição geoquímica e do intemperismo do material de origem. O Zn, como todos os nutrientes de plantas, deve estar em solução antes que possa ser absorvido pelas raízes. As concentrações de Zn na solução do solo são muito baixas, variando de 2 ppb a 70 ppb. Esse nutriente existe na solução do solo como cátion divalente Zn^{2+} e sua disponibilidade para absorção depende de vários fatores, incluindo os seguintes:

pH do solo – O Zn se torna menos disponível à medida que o pH do solo aumenta em decorrência do aumento da capacidade de adsorção por minerais de argila, óxidos de alumínio (Al) e ferro (Fe) e carbonatos de cálcio. A disponibilidade de Zn também pode ser reduzida sob condições de pH baixo, particularmente em solos com textura arenosa e altamente intemperizados.

Matéria orgânica do solo – A matéria orgânica rapidamente decomponível, tal como esterco, pode aumentar o teor de Zn disponível pela formação de complexos orgânicos solúveis de Zn. Outros materiais orgânicos encontrados na turfa e solos ricos em



FOTO IPNI ESPINOSA

Deficiência de zinco em milho.



FOTO HÉLIO CASALE

Encurtamento dos internódios em cana-de-açúcar causado por deficiência de zinco.

húmus podem formar complexos insolúveis, resultando em concentrações mais baixas de Zn. Geralmente, baixos teores de matéria orgânica no solo são indicativos de baixa disponibilidade de Zn. As práticas culturais, tais como sistematização ou preparo do solo, assim como a erosão, também podem levar à diminuição da disponibilidade de Zn pela exposição das camadas de subsolo que contêm baixos teores de matéria orgânica.

Condições climáticas – A difusão é o mecanismo primário para o transporte de Zn para as raízes das plantas; portanto, qualquer fator que iniba o desenvolvimento das raízes prejudicará a absorção deste nutriente. Os fatores climáticos que resultam em redução da absorção de Zn incluem solos quentes e úmidos, particularmente no início do ciclo de cultivo. Embora as plantas possam superar essa deficiência inicial, já poderá ter ocorrido certa perda de produtividade. Solos encharcados também podem apresentar níveis de Zn disponível mais baixos em decorrência das condições de redução e subsequente precipitação de compostos insolúveis de Zn.

Interação com outros nutrientes – O efeito antagônico de outros cátions metálicos, especialmente cobre (Cu^{2+}) e Fe^{2+} , pode inibir a absorção de Zn, assim como altos teores de fósforo (P). Essa interação é mais comum em solos deficientes em Zn. A adição de fertilizantes fosfatados em solos com teores adequados de Zn normalmente não



INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

AV. INDEPENDÊNCIA, 350, SALA 142, BAIRRO ALTO, 13419-160
PIRACICABA, SP, BRASIL
TELEFONE: (19) 3433-3254 | WEBSITE: <http://brasil.ipni.net>
TWITTER: @IPNIBRASIL; FACEBOOK: <https://www.facebook.com/IPNIBrasil>

induzirá deficiência deste nutriente. Fatores fisiológicos da planta também podem contribuir para o início da deficiência de Zn associada com altos níveis de P.

Adubação com zinco

Levando em consideração os vários fatores do solo que afetam a disponibilidade de Zn para as plantas, a análise de solo é a melhor ferramenta para prever a necessidade de Zn adicional. A inspeção visual e a análise de tecidos das plantas também são ferramentas diagnósticas úteis para determinar as necessidades de fertilizantes contendo Zn. Entretanto, geralmente, são apenas usadas depois que a deficiência já se instalou.

Os três tipos básicos de fertilizantes contendo Zn são compostos minerais inorgânicos, quelatos sintéticos e materiais orgânicos naturais. A solubilidade em água é o principal fator que rege o desempenho dos fertilizantes contendo Zn. As fontes comuns de fertilizantes contendo Zn são mostradas na **Tabela 1**.

Tabela 1. Fontes comuns de fertilizantes contendo zinco.

Fonte	Teor de Zn (%)
Sulfatos de zinco (hidratados)	23-35
Sulfato de zinco (básico)	55
Óxido de zinco	50-80
Oxisulfatos	Variável
Cloreto de zinco	24
Nitrato de zinco	18
Quelatos de zinco	5-14
Acetato de zinco	28

As taxas de recomendação de fertilizantes contendo Zn variam conforme a região e a cultura. Em geral, espera-se que as aplicações de 5 a 10 kg/ha de Zn, que elevam os níveis deste nutriente no solo para quantidades adequadas, sejam eficientes por 3 a 5 anos. Para algumas regiões, é recomendada uma taxa mais baixa se o Zn for aplicado em uma faixa concentrada no solo. No entanto, essas taxas reduzidas são geralmente antecipadas, sendo adicionadas anualmente como parte da adubação de semeadura.

Já foi demonstrado que aplicações foliares de 0,5 kg/ha a 2,0 kg/ha de Zn são eficientes como estratégia de adubação durante o ciclo da cultura. As soluções, geralmente a alto volume, têm concentração de Zn de 0,05% a 0,2%. Contudo, essa abordagem é mais bem utilizada como tratamento de correção ou respeitando um bom programa de adubação com base em análise de solo.

Sintomas de deficiência de zinco

As deficiências de Zn ocorrem em uma grande variedade de plantas quando o nível nas folhas cai abaixo de 15 ppm. Como a maioria dos micronutrientes, o Zn é quase totalmente imóvel na planta e os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas recém-expandidas.

Alguns sintomas frequentemente associados com deficiência de Zn são:

- Plantas raquíticas;
- Áreas verde claras entre as nervuras de folhas novas;
- Folhas menores (folha pequena);

Tabela 4. Resposta de arroz a aplicações de fertilizantes contendo zinco a lanço e incorporados.

Parâmetro	Zn aplicado (kg/ha)							
	Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4	
	0	13,5	0	13,5	0	13,5	0	13,5
Produtividade de grãos (t/ha)	7,9	9,4	7,9	8,9	5,7	6,7	3,2	7,7
Matéria seca (kg/ha)	278	470	777	1.031	200	590	391	877
Zn nos tecidos (ppm)	15,1	21,0	15,6	23,5	13,9	21,5	12,4	17,9

Dados são média de quatro fontes de Zn: sulfato, lignosulfato e dois oxisulfatos.
Fonte: Slaton e outros (2005, tradução nossa).

- Internódios curtos (roseta);
- Faixas brancas largas em cada lado da nervura central em milho e sorgo granífero.

Os sintomas de deficiência de Zn são similares aos sintomas de deficiência de manganês (Mn) e Fe em algumas culturas e uma análise de tecidos deve ser usada para confirmar a deficiência do nutriente.

Resposta das culturas a zinco

As culturas variam em sua responsividade a Zn (**Tabela 2**). Quando necessário para a produção de uma cultura responsiva, a aplicação de fertilizantes contendo Zn pode resultar em aumento substancial da produtividade da cultura (**Tabelas 3 e 4**).

Tabela 2. Responsividade das culturas à aplicação de zinco.

Muito responsivas	Medianamente responsivas	Pouco responsivas
Arroz	Alfafa	Aipo
Cacau	Algodão	Alface
Café	Batata	Aspargo
Cebola	Beterraba	Aveia
Citros	Cevada	Cenoura
Feijões	Gramíneas forrageiras	Centeio
Linho	Soja	Ervilha
Lúpulo	Tomate	Repolho
Milho	Trevo	Uva
Noz pecã	Trigo	
Pêssego		
Pinheiro		
Tungue		

Tabela 3. Resposta de milho à aplicação de zinco em faixa no plantio.

Zn aplicado ¹ (kg/ha)	Produtividade (kg/ha)
0	4.170
0,3	9.213
1,0	9.415
3,0	9.550

¹Aplicação de 8-20-0 como suspensão; Zn no solo extraível com DTPA = 0,3 ppm.
Fonte: Rehm e Schmitt (1997, tradução nossa).

Referências

- REHM, G.; SCHMITT, M. *Zinc for crop production*. Minneapolis: University of Minnesota, Extension Publication FO-00720-GO, 1997.
- SLATON, N. A.; GBUR, E. E.; WILSON, C. E.; NORMAN, R. J. Rice response to granular zinc sources varying in water-soluble zinc. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 69, no. 2, p. 443-452, 2005.

Manganês

Nº 9

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

O manganês (Mn) é um dos 17 elementos essenciais para o crescimento e a reprodução das plantas. É requerido por elas apenas em pequenas quantidades, mas assim como outros micronutrientes, é tão crítico para seu crescimento quanto os macronutrientes.

Manganês nas plantas

A concentração de Mn nas plantas normalmente varia de 20 ppm a 300 ppm. Quando a concentração deste nutriente cai abaixo de 15–20 ppm, geralmente ocorre deficiência (Tabela 1).

Tabela 1. Faixa de teores adequados e responsividade a manganês para algumas culturas.

Cultura	Faixa de teores adequados de Mn (ppm)	Responsividade
Soja	20–100	Alta
Sorgo	18–190	Alta
Trigo	20–200	Alta
Café	80–100	Alta
Milho	30–150	Média
Citros	25–100	Média
Batata	30–200	Média
Algodão	25–350	Baixa

O Mn é absorvido pelas plantas na forma de Mn^{2+} e em formas organicamente complexadas. As raízes das plantas liberam exsudatos, tais como ácidos orgânicos de baixo peso molecular, que ajudam na absorção de Mn do solo. Dentro das plantas, o Mn funciona, na maioria das vezes, como um ativador em sistemas enzimáticos, mas também é constituinte de certas enzimas. É essencial para as reações da fotossíntese e está envolvido na evolução do oxigênio durante este processo. A síntese de lignina, que confere força e rigidez às paredes celulares, é dependente de Mn. O Mn também é fundamental para o crescimento das raízes.

Manganês nos solos

A crosta terrestre contém cerca de 0,11% de Mn, enquanto o Mn total nos solos geralmente varia de cerca de 20 ppm a 3.000 ppm (0,002% a 0,30%), mas apenas uma fração deste total está disponível para as plantas. A forma mais comum de Mn na solução do solo é Mn^{2+} , que geralmente está complexada por compostos orgânicos.

A concentração de Mn^{2+} na solução do solo é altamente dependente do pH, com níveis diminuindo cerca de 100 vezes a cada unidade de aumento de pH. Assim, o Mn disponível para as plantas aumenta à medida que o pH do solo diminui, de tal modo que as deficiências têm maior probabilidade de ocorrer em solos alcalinos. No outro extremo, se o pH do solo for muito baixo (< 5), o Mn pode ser tóxico para culturas sensíveis.

As deficiências de Mn nas culturas ocorrem mais frequentemente em solos com pH alto (alcalino) e naqueles que naturalmente têm baixas concentrações deste nutriente. As deficiências também podem ser problemáticas em solos com alto teor de matéria orgânica, como turfas e solos ricos em húmus, que favorecem a formação de quelatos de Mn indisponíveis. Deve-se notar que altos níveis de cobre (Cu), ferro (Fe) ou zinco (Zn) podem reduzir a absorção de Mn^{2+} . O extrator de Mn mais comumente usado em análise de solo é o agente quelante ácido dietilenotriaminopentaacético (DTPA). O nível crítico de Mn extraído por DTPA é geralmente estabelecido em 1 ppm, mas isto varia dependendo de pesquisas locais de calibração.

Sintomas de deficiência de manganês

O Mn, como muitos outros micronutrientes, é imóvel nas plantas. Isso é um ponto importante, porque significa que os sintomas de deficiência aparecerão primeiro em folhas mais jovens, uma vez que as plantas não podem facilmente remover Mn de tecidos mais velhos. Algumas culturas são mais suscetíveis à deficiência de Mn do que outras. Entre as culturas sensíveis estão soja, cereais, amendoim, cucurbitáceas, cebola, ervilha, rabanete e feijão. As descrições dos sintomas de deficiência de Mn para algumas culturas selecionadas são fornecidas a seguir.

Soja: Primeiramente, as folhas superiores se tornam cloróticas entre as nervuras, enquanto estas permanecem verdes. As folhas mais jovens primeiramente se tornam verde-pálidas e, então, amarelo-pálidas. À medida que a deficiência se torna mais



INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

AV. INDEPENDÊNCIA, 350, SALA 142, BAIRRO ALTO, 13419-160

PIRACICABA, SP, BRASIL

TELEFONE: (19) 3433-3254 | WEBSITE: <http://brasil.ipni.net>

TWITTER: @IPNIBRASIL; FACEBOOK: <https://www.facebook.com/IPNIBrasil>

severa, aparecem áreas mortas marrons. Algumas pesquisas, mas não todas, indicam que soja transgênica resistente a glifosato pode ser mais responsiva à adição de Mn do que as variedades convencionais.

Milho: As plantas deficientes parecem atrofiadas, com caules curtos e finos e com folhas verde-pálidas a amarelas. Se a deficiência se tornar severa, as folhas ficam amarelo-pálidas e pontos brancos aparecem em áreas cloróticas internervais. Os sintomas aparecem primeiramente em folhas mais jovens.



FOTO IPNI SHARMA E KUMAR.

Milho com deficiência de manganês.

Algodão: As folhas mais jovens são afetadas primeiro. Elas ficam com forma de concha e amarelo-acinzentadas ou vermelho-acinzentadas com nervuras verdes. O excesso de Mn no solo pode se tornar tóxico para as plantas em baixo pH do solo. Esse problema é conhecido como folha enrugada.

Cereais: A aveia é a espécie mais suscetível nesta classe. A deficiência de Mn em aveia é, algumas vezes, chamada de “mancha cinza” e, geralmente, se inicia como um ponto cinza oval na borda das folhas jovens no estágio de três a quatro folhas. A mancha pode se espalhar gradualmente para toda a folha, ou muitos pontos podem se desenvolver. Em trigo e cevada, as plantas desenvolvem nas folhas mais jovens listras amarelas paralelas no sentido do comprimento da folha. É sempre uma boa ideia, quando for possível, confirmar os sintomas observados no campo utilizando análise dos tecidos das plantas.

Cebola: Uma das culturas mais suscetíveis à deficiência de Mn. As folhas mais externas mostram listras de clorose internerval e desenvolvem queima das pontas com necrose progressiva. Também são sintomas de deficiência de Mn a atrofia das plantas e a produção atrasada de bulbos.



FOTO IPNI SADANA.

Soja com deficiência de manganês.

Adução com manganês

Os fertilizantes contendo Mn podem ser aplicados a lanço, em faixas no solo ou via foliar. O sulfato de manganês ($MnSO_4$) é a fonte mais comum de fertilizantes contendo Mn. É altamente solúvel em água e adequado para aplicações no solo ou, principalmente, por via foliar. Há várias outras fontes de fertilizantes com Mn, incluindo quelatos, cloretos, óxidos e oxissulfatos (Tabela 2).

As taxas de aplicação de Mn são altamente dependentes do método de aplicação: a lanço no solo, geralmente variam de 10 kg/ha a 25 kg/ha; em faixas perto da linha de plantio, variam de 3 kg/ha a 5 kg/ha; e na aplicação via foliar, normalmente variam de 0,5 kg/ha a 2,0 kg/ha.

As aplicações em faixas ou via foliar são preferíveis à aplicação a lanço em solos com pH alto, pois o Mn torna-se insolúvel muito rapidamente nesta condição. Nesses solos, a aplicação em faixas minimiza o contato solo-Mn e, assim, retarda a reação de adsorção. Além disso, a aplicação de Mn em faixas juntamente com fertilizantes com reação ácida (por exemplo, enxofre elementar e nitrogênio amoniacal) pode ajudar a prolongar sua disponibilidade em solos alcalinos.

Tabela 2. Fontes comuns de fertilizantes contendo manganês.

Fonte	Fórmula química	Teor de Mn (%)
Sulfato de manganês	$MnSO_4 \cdot 3H_2O$	26–28
Cloreto de manganês	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	25
Carbonato de manganês	$MnCO_3$	40
Dióxido de manganês	MnO_2	63
Óxido de manganês	MnO	41–68
Nitrato de manganês	$Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	16
Oxissulfato de manganês	$MnO \cdot MnSO_4$	25–70

Os fertilizantes contendo Mn solúvel em água são boas fontes deste nutriente quando aplicados tanto no solo quanto por via foliar, mas as fontes com baixa solubilidade (como óxidos ou oxissulfatos) devem ser aplicados no solo e, preferencialmente, finamente moídas de modo a se obter partículas menores do que 0,15 mm. Em relação à aplicação de quelatos de Mn no solo, deve-se observar que a característica de quelação pode ter curta duração, uma vez que o agente quelante pode rapidamente formar no solo quelatos de ferro (Fe^{3+}) mais estáveis.

As aplicações foliares devem ser feitas imediatamente após o aparecimento de sintomas de deficiência e devem ser repetidas se os sintomas reaparecerem. A mistura de fertilizantes contendo Mn com glifosato tem sido evitada, devido à formação de complexos indesejáveis.

Resposta das culturas a manganês

Em um experimento com soja em solo de Cerrado, comparou-se um controle (0 Mn) com aplicações foliares e no solo de Mn. As aplicações foliares com $MnSO_4$ e quelato com base de sulfato foram mais eficientes do que $MnSO_4$ e oxissulfato de Mn aplicados no solo. A aplicação foliar de $MnSO_4$ tem sido considerada mais eficiente para corrigir as deficiências de Mn em soja, principalmente em condições de pH alto do solo (Tabela 3).

Tabela 3. Produtividade de soja em resposta a fontes de manganês.

Tratamento	Produtividade (kg/ha)
Controle	2.247
$MnSO_4$ (200 g/ha), foliar	2.769
Quelato SO_4^{2-} (200 g/ha), foliar	2.827
$MnSO_4$ (4.000 g/ha), solo	2.499
Oxissulfato de manganês (4.000 g/ha), solo	2.526

Fonte: Silva (2000).

Referência

SILVA, M. M. Fontes e modos de aplicação de manganês na nutrição, produção e qualidade da soja, cultivada em solo de cerrado. 2000. 174 f. Tese (Doutorado em Agronomia)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP, Piracicaba, 2000.

Cobre

Nº 10

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

O cobre (Cu) é um dos oito micronutrientes das plantas. Quando há deficiência de Cu, as respostas mais comuns das culturas à sua aplicação incluem redução de doenças, aumento do crescimento e melhora da qualidade. As fontes de Cu comumente aplicadas são fertilizantes, esterco de origem animal, biofósforos e produtos para tratamento fitossanitário.

Cobre nas plantas

O Cu tem função essencial na saúde humana e no crescimento das plantas. Seu caráter essencial na nutrição de plantas não foi reconhecido até 1931. As concentrações normais de Cu nas plantas variam de 5 ppm a 20 ppm.

As raízes das plantas absorvem a forma divalente (Cu^{2+} , íon cúprico) e podem prontamente reduzi-la à forma monovalente (Cu^+ , íon cuproso). A facilidade de conversão de Cu entre as formas cúprica e cuprosa e vice-versa confere a este micronutriente funções únicas na planta. O Cu desempenha papéis na fotossíntese e na respiração, incluindo a transferência final de elétrons para o oxigênio. O Cu também auxilia na formação de lignina nas paredes celulares, o que fornece suporte para manter as plantas eretas. É particularmente importante na formação de grãos de pólen viáveis, formação de sementes e resistência a estresse.

Cobre nos solos

O teor total de Cu nos solos normalmente varia entre 1 ppm e 40 ppm, mas a concentração de Cu dissolvido na solução do solo é muito mais baixa. A disponibilidade de Cu nos solos para a absorção pelas plantas é afetada pelas seguintes características:

- **Matéria orgânica.** O Cu é o micronutriente que está mais fortemente ligado à matéria orgânica. As deficiências de Cu nas plantas geralmente ocorrem em culturas que crescem em turfas, solos ricos em húmus e solos com mais do que 8% de matéria orgânica. As concentrações críticas de Cu em análises de solo (Cu extraível com DTPA) são muito maiores nesses solos do que em solos minerais.
- **Textura.** As plantas que crescem em solos de textura arenosa têm maior probabilidade de apresentar deficiência de Cu do que aquelas que crescem em solos de textura média ou argilosa. Os solos de textura argilosa geralmente retêm mais Cu na forma

trocável, disponível para as culturas. Outros componentes do solo, como óxidos e carbonatos, podem promover a diminuição da disponibilidade de Cu.

- **pH do solo.** A solubilidade do Cu diminui à medida que o pH aumenta para 7 ou mais. Em pH alto, ocorre aumento da força com a qual o Cu é retido pela argila e a matéria orgânica do solo, tornando-o menos disponível para as culturas.
- **Equilíbrio de nutrientes.** Altas concentrações de zinco (Zn), fósforo (P), alumínio (Al) e ferro (Fe) nos solos podem diminuir a absorção de Cu pelas raízes e agravar sua deficiência. Os riscos de deficiência de Cu também aumentam com maiores taxas de aplicação de nitrogênio (N).

Adubação dos solos com cobre

Fonte: Quando Cu adicional é exigido, a fonte fertilizante mais comum é o sulfato de cobre, embora muitos outros materiais estejam disponíveis (**Tabela 1**). Outras fontes de Cu são esterco bovino e de aves e biofósforos. Alguns tipos de esterco contêm elevadas concentrações de Cu em decorrência de sua adição na alimentação animal ou seu uso em pedilúvio para prevenir podridão dos cascos.

Dose: Em locais onde a deficiência de Cu for identificada nas culturas, a dose certa para aplicação depende da fonte específica de Cu. Os fertilizantes contendo Cu têm variações em seu teor de Cu e em sua solubilidade no solo. Por exemplo, doses de 3 kg/ha a 15 kg/ha de Cu na forma de sulfato de cobre ou de cerca de 0,5 kg/ha de Cu na forma de quelato são usadas para aplicações no solo, enquanto para aplicações foliares são usadas doses mais baixas.

Época: Como o Cu é fortemente retido no solo, a época para sua aplicação é flexível e sua disponibilidade pode aumentar gradualmente por vários anos após uma única aplicação. As aplicações foliares são geralmente limitadas a situações emergenciais, quando a deficiência é identificada após o plantio, ou como parte de um programa de adubação foliar de manutenção.

Local: A eficiência de absorção de Cu é aumentada quando os fertilizantes são aplicados perto da zona radicular ou em faixas perto das sementes na linha de plantio. O risco de danos às raízes aumenta quando altas doses de Cu são aplicadas em faixas perto da semente.

Sintomas de deficiência de cobre

Os sintomas de deficiência de Cu variam com a cultura. Deficiências leves ou moderadas podem reduzir a produtividade ou o crescimento da



INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

AV. INDEPENDÊNCIA, 350, SALA 142, BAIRRO ALTO, 13419-160
PIRACICABA, SP, BRASIL

TELEFONE: (19) 3433-3254 | WEBSITE: <http://brasil.ipni.net>

TWITTER: @IPNIBRASIL; FACEBOOK: <https://www.facebook.com/IPNIBrasil>



IPNI2010PPI05-2460



IPNI2010PPI06-1766



D. PITCHAY



IPNI2010PPI05-2302

Espigas de trigo saudáveis a severamente deficientes em cobre, mostrando sinais de melanose (necrose parda do trigo).

“Rabo de chicote” nas folhas de trigo é um sintoma comum de deficiência de cobre.

Deficiência de cobre em alface em comparação com crescimento normal (esquerda).

Deficiência de cobre em citros.

Tabela 1. Fontes comuns de cobre.

Fonte	Fórmula	Cu (%)
Sulfato de cobre ^{1,2}	CuSO ₄ • 5H ₂ O	25
Quelato de cobre, EDTA ^{1,2}	Na ₂ Cu EDTA	13
Sulfato de cobre monohidratado ^{1,2}	CuSO ₄ • H ₂ O	35
Acetato de cobre ^{1,2}	Cu(CH ₃ COO) ₂ • H ₂ O	32
Fosfato de amônio e cobre ^{1,2}	CuNH ₄ PO ₄ • H ₂ O	32
Óxido de cobre	CuO	75
Óxido cuproso ^{1,2}	Cu ₂ O	89
Esterco animal ³		0,002–0,07
Biossólidos ⁴		< 0,43; média 0,074

Fonte: 1. Havlin e outros (2014); 2. Martens e Westerman (1991); 3. Xiong e outros (2010); 4. Lu e outros (2012).

planta sem sinais claros. O Cu é imóvel na planta e, portanto, os sintomas aparecem primeiro em brotações mais jovens.

Em milho, as folhas jovens se tornam amarelas e atrofiadas; os sintomas iniciais podem ser confundidos com os causados por geada ou seca. Em estádios avançados, as folhas podem assumir coloração castanha nas margens, semelhante aos sintomas de deficiência de potássio (K). Quando há deficiência de Cu, pode haver aumento da incidência de ergotismo, melanose do caule, mal-do-pé e fusariose da espiga. O escurecimento da espiga e o encurvamento do caule na maturidade são sinais comuns de deficiência de Cu em trigo e cevada. As espigas geralmente ficam vazias ou com grãos enrugados.

Em muitas culturas, as folhas podem parecer murchas, tornam-se azul-esverdeadas antes de se tornarem amarelas e enroladas e não ocorre a formação de flores.

Sintomas de toxicidade de cobre

A toxicidade de Cu pode ocorrer após repetidas aplicações de esterco, biossólidos ou pesticidas que têm alto teor deste micronutriente. Os sintomas de toxicidade incluem reduzido vigor de brotações, sistema radicular pobremente desenvolvido, raízes descoloridas e clorose foliar (amarelecimento). Eles podem ser confundidos com sintomas de deficiência de Fe. As espécies de plantas diferem acentuadamente em sua tolerância ao Cu; por exemplo, feijão tolera toxicidade de Cu muito melhor do que milho.

Resposta das culturas a cobre

As espécies e cultivares de plantas variam consideravelmente em sua sensibilidade à deficiência de Cu e na resposta à sua aplicação (Tabela 2). A sensibilidade à toxicidade de Cu não necessariamente segue a ordem inversa.

Em um conjunto de 115 experimentos de campo com trigo de primavera nas Províncias das Pradarias do Canadá, encontrou-se uma frequência de 87% de resposta em termos de produtividade de grãos à aplicação de Cu nos locais em que o teor de Cu extraível com DTPA no solo era menor do que 0,4 ppm. A resposta em termos de produtividade de grãos à aplicação dessa concentração de Cu foi, em média, de 47%, enquanto em níveis entre 0,4 ppm e 0,8 ppm, de acordo com as análises de solo, o aumento de produtividade foi, em média, de 10%. As análises de solo foram eficientes para identificar as deficiências e a frequência de resposta rentável à aplicação de Cu variou entre 19% e 77% (dependendo do preço do trigo

e da taxa de retorno exigida) para solos com níveis abaixo de 0,4 ppm, e foi muito rara em maiores concentrações de Cu (KARAMANOS et al., 2003).

No Brasil, algumas culturas hortícolas, como alface, alho e cebola, são responsivas à aplicação de Cu. Souza e outros (1982) verificaram resposta positiva de uma cultivar de alho à aplicação de sulfato de cobre em solo de Cerrado. Resende e outros (2005) obtiveram maior produção de massa fresca e maior circunferência da cabeça comercial de alface americana com aplicação de 26 g/ha de Cu, bem como melhor sanidade das folhas externas quando a aplicação ocorreu aos 21 e 28 dias após o transplante.

Rodrigues e outros (2010) verificaram que os teores de Cu extraídos pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA são altamente correlacionados entre si e que, portanto, a avaliação da disponibilidade deste micronutriente para mudas de eucalipto pode ser feita utilizando qualquer um deles. Os autores também observaram que os níveis críticos de Cu em solos de Cerrado para o crescimento de mudas de eucalipto foram iguais ou inferiores a 0,12 mg/dm³ e 0,09 mg/dm³, utilizando os extratores Mehlich-1 e DTPA, respectivamente, e que os teores e conteúdos de Cu na planta mostraram estreita relação com os teores de Cu no solo com os extratores avaliados.

Tabela 2. Sensibilidade das culturas à deficiência de cobre.

Alta	Média	Baixa
Alface	Abacaxi	Aspargo
Alfafa	Aipo	Batata
Alpiste	Beterraba açucareira	Canola
Arroz	Brócolis	Centeio
Aveia	Cevada	Colza
Beterraba de mesa	Cheróvia	Ervilha
Capim sudão	Couve-flor	Feijão
Cebola	Maçã	Gramma para jardim
Cenoura	Milho	Gramíneas forrageiras
Citros	Mirtilo	Hortelã-pimenta
Espinafre	Morango	Hortelã-verde
Linho	Nabo	Pinheiro
Trigo	Pepino	Soja
	Rabanete	Tremoço
	Rabo-de-gato	Uva
	Repolho	
	Sorgo	
	Tomate	

Fonte: Havlin e outros (2014) e Marschner (1995).

Referências

- HAVLIN, J. L.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. 8. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2014.
- KARAMANOS, R. E.; GOH, T. B.; HARAPIAK, J. T. Determining wheat responses to copper in prairie soils. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v. 83, no. 2, p. 213–221, 2003.
- LU, Q.; HE, Z. L.; STOFFELLA, P. J. Land application of biosolids in the USA: a review. *Applied and Environmental Soil Science*, v. 2012, 201462, 2012.
- MARSCHNER, R. *Mineral nutrition of higher plants*. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1995.
- MARTENS, D. C.; WESTERMAN, D.T. Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Ed.). *Micronutrients in agriculture*. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 549–592. (Book Series, 4).
- RESENDE, G. M.; YURI, J. E.; MOTA, J. H.; RODRIGUES JÚNIOR, J. C.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G. Resposta da alface americana (*Lactuca sativa* L.) a doses e épocas de aplicação de cobre. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1209–1214, 2005.
- RODRIGUES, F. A. V.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F. Disponibilidade de cobre para mudas de eucalipto em solos de Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1923–1932, 2010.
- SOUZA, A. F.; MENEZES SOBRINHO, J. A.; LIMA, J. A.; CASTOR, O. S.; FERREIRA, P. Efeito de cobre e zinco no rendimento de alho (*Allium sativum* L.) em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 22., Vitória, 1982. Anais... Vitória: Sociedade de Olericultura do Brasil, Secretaria do Estado da Agricultura do Espírito Santo, 1982. p. 302.
- XIONG, X.; LI, Y. X.; LI, W.; LIN, C. Y.; HAN, W. Copper content in animal manures and potential risk of soil copper pollution with animal manure use in agriculture. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 54, no. 11, p. 985–990, 2010.

Cloreto

Nº 11

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

O cloreto (Cl) é comumente encontrado na natureza. Desde os mares e solos e até no ar, ele está em toda parte. É um ânion monovalente e tem uma única carga negativa. As plantas absorvem o elemento cloro (Cl) nessa forma aniônica. Em condições normais, o Cl é um gás instável amarelo-esverdeado. Diferentemente do Cl⁻, o Cl livre raramente ocorre na natureza.

O Cl foi reconhecido como um nutriente de planta em meados da década de 1950. Entretanto, seu valor como fertilizante suplementar não foi compreendido até a década de 1970, quando trabalhos no noroeste dos Estados Unidos e em outros locais mostraram que algumas culturas podem, de fato, responder a aplicações de fertilizantes contendo Cl. Desde aquela época, vários estudos já foram conduzidos para investigar a resposta da cultura à adição de Cl e determinar as melhores práticas de manejo para a adubação com ele.

Cloreto nas plantas

O Cl cumpre funções muito importantes nas plantas, como:

- Fotossíntese e ativação enzimática – algumas das enzimas ativadas por Cl estão envolvidas na utilização do amido, que afeta a germinação e a transferência de energia.
- Transporte de outros nutrientes – o Cl auxilia no transporte de nutrientes como potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺), pois age como um contra-íon para manter o equilíbrio elétrico.
- Movimento da água nas células – o Cl auxilia tanto o movimento quanto a retenção da água nas células, desta forma impactando a hidratação e o turgor.
- Atividade estomática – tanto o K quanto o Cl estão envolvidos no movimento das células-guarda, que controlam a abertura e o fechamento dos estômatos.
- Desenvolvimento acelerado da planta – para a produção de cereais, a aplicação da quantidade adequada de Cl resultará em formação de espigas e emergência mais precoces do que quando há deficiência deste ânion. Em trigo de inverno, foi observado adiantamento de 5 a 7 dias na maturação dos grãos.
- Redução do acamamento – fortalece os caules, auxiliando na redução do acamamento no final da safra.

Entre os impactos mais notáveis do Cl está seu papel na redução dos efeitos de inúmeras doenças de plantas, que pode estar relacionado com sua função na regulação osmótica. Em trigo, verificou-se que o Cl inibe mal-do-pé, mancha-amarela-da-folha, ferrugem estriada, ferrugem da folha e septoriose, enquanto em milho e sorgo granífero, inibe podridão do colmo.

Cloreto nos solos

Quase todo o Cl do solo está na solução do solo. O Cl, assim como o nitrato (NO₃⁻), é móvel nos solos e se move livremente com a água do solo. Assim, sob certas condições, pode ser prontamente lixiviado da zona radicular. Há várias fontes potenciais de Cl nos sistemas de produção das culturas, incluindo chuvas, aerossóis marinhos, emissões vulcânicas, água de irrigação e fertilizantes. Algumas águas de irrigação contêm quantidades substanciais de Cl, geralmente suficientes para satisfazer ou exceder as necessidades da cultura. A deposição atmosférica pode ser particularmente alta em áreas costeiras. Entretanto, regiões longe da costa, como o Cerrado da região central do Brasil, têm deposição atmosférica de Cl muito mais baixa, tornando maior a probabilidade de resposta a fertilizantes contendo este ânion. Em áreas onde há histórico de aplicação de fertilizantes contendo Cl (como muriato de potássio, também conhecido como MOP ou cloreto de potássio - KCl) não é provável que este seja limitante para as culturas.

Adubação com cloreto

Existem vários fertilizantes que são fontes de Cl, mas o mais comum e prontamente disponível é o cloreto de potássio (KCl) (**Tabela 1**). Todas as fontes têm desempenho semelhante, não havendo uma que seja superior quando se considera apenas o Cl. Como o Cl é solúvel e se move prontamente com a água do solo, o local de sua aplicação no solo não é tão importante quanto

Tabela 1. Fertilizantes contendo cloreto.

Fertilizante	Fórmula química	Cl (%)
Cloreto de potássio	KCl	47
Cloreto de magnésio	MgCl ₂	74 (seco); 22 (líquido)
Cloreto de amônio	NH ₄ Cl	66
Cloreto de cálcio	CaCl ₂	65



INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

AV. INDEPENDÊNCIA, 350, SALA 142, BAIRRO ALTO, 13419-160
PIRACICABA, SP, BRASIL
TELEFONE: (19) 3433-3254 | WEBSITE: <http://brasil.ipni.net>
TWITTER: @IPNIBRASIL; FACEBOOK: <https://www.facebook.com/IPNIBrasil>



FOTO IPNI/LAMOND.

À esquerda, **deficiência de cloreto** observada como mancha fisiológica nas folhas de trigo de inverno. À direita, plantas de trigo que receberam aplicação de fertilizante contendo Cl.

Fonte: Mengel e outros (2009, p. 20, tradução nossa).

para os nutrientes imóveis, como o fósforo (P). O Cl⁻ aplicado na superfície do solo se move para a zona radicular com as chuvas.

Sintomas de deficiência de cloreto

Os sintomas de deficiência de Cl⁻ foram observados e caracterizados em várias culturas e podem variar, mas os dois mais comuns são clorose em folhas mais jovens e marcha generalizada. Também podem ocorrer necrose de algumas partes da planta, bronzeamento das folhas, redução do crescimento de raízes e folhas e aumento da suscetibilidade a várias doenças como resultado da deficiência de Cl⁻.

No início da década de 1990, a síndrome da mancha fisiológica da folha foi primeiramente observada em certas variedades de trigo de inverno em Montana (Estados Unidos). Esses sintomas são similares em aparência aos de mancha-amarela-da-folha e septoriose, mas não estão associados com patógenos. Algumas pesquisas mostraram que essas manchas são resultado da deficiência de Cl⁻.

Resposta das culturas a cloreto

Várias pesquisas sobre a nutrição de culturas com Cl⁻ foram conduzidas nas Grandes Planícies nos Estados Unidos, a maioria delas com trigo de inverno, mas algumas com outras culturas também. Na **Tabela 2**, são mostradas a produtividade de grãos e as concentrações de Cl⁻ em tecidos em múltiplos locais e anos para trigo de inverno de sequeiro, milho e sorgo grânifero que receberam Cl⁻.

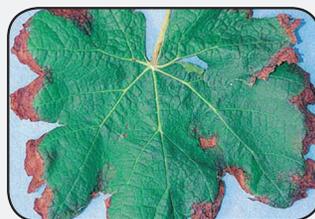
Em uma meta-análise sobre resposta de trigo de inverno à aplicação de Cl⁻, com dados coletados de 1990 a 2006 em 53 localidades no Kansas (Estados Unidos), concluiu-se que a aplicação de fertilizante contendo Cl⁻ gerou aumento médio de produtividade de aproximadamente 8%, e que a aplicação de doses maiores do que cerca de 22,4 kg/ha Cl⁻ raramente resultaria em aumentos adicionais de produtividade (RUIZ DIAZ et al., 2012).

Algumas circunstâncias que favorecem as respostas a fertilizantes contendo Cl⁻ são baixos níveis no solo e/ou nos tecidos das plantas, altos níveis foliares e/ou pressão de doença fúngica nas raízes, cultivar responsiva e locais onde a adubação com KCl é mínima em áreas não costeiras.

Sensibilidade a cloreto

As plantas que crescem em solos afetados por sal ou irrigados com água contendo alto teor de Cl⁻ podem ser negativamente impactadas por adubação com Cl⁻ adicional. Danos às folhas também podem ocorrer como resultado de excesso de Cl⁻ depositado na folhagem durante a irrigação. Deve-se proceder a cuidadoso manejo de fertilizantes e água para controlar o Cl⁻ nessas situações. Algumas

culturas são sabidamente sensíveis a teores elevados de Cl⁻ (tabaco, batata, vários frutos e hortaliças, algumas árvores e algumas variedades de soja), embora esta sensibilidade varie dependendo das condições em que crescem.



WINETITLES.COM



CDFA.CA.GOV



SALINITYMANAGEMENT.ORG



CORNELLE.U

Algumas plantas são sensíveis a altas concentrações de Cl⁻. Os sintomas de excesso de Cl⁻ geralmente aparecem primeiramente nas pontas e bordas de folhas mais velhas (no sentido horário, começando no alto à esquerda: uva, amêndoa, nozes e morango).

Referências

MENGEL, D.; LAMOND, R.; MARTIN, V.; DUNCAN, S.; WHITNEY, D.; GORDON, B. Chloride fertilization and soil testing – update for major crops in Kansas. *Better Crops with Plant Food*, Atlanta, v. 93, no. 4, p. 20–22, 2009. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/4BCE19F34D5F7FC38525798006F35AC/\\$FILE/Better%20Crops%202009-4%20p20.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/4BCE19F34D5F7FC38525798006F35AC/$FILE/Better%20Crops%202009-4%20p20.pdf)>. Acesso em: 28 set. 2016.

RUIZ DIAZ, D. A.; MENGEL, D. B.; LAMOND, R. E.; DUNCAN, S. R.; WHITNEY, D. A.; MAXWELL, T. M. Meta-analysis of winter wheat response to chloride fertilization in Kansas. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 43, no. 18, p. 2437–2447, 2012. doi: 10.1080/00103624.2012.708077

Leitura adicional

ENGEL, R.E.; FIXEN, P.E. Suppression of physiological leaf spot in winter wheat by chloride fertilization. *Better Crops with Plant Food*, Atlanta, v. 78, no. 3, p. 20–22, 1994. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/250C4693BFEF768D85257D31005ED255/\\$FILE/BC-1994-3%20p20.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/250C4693BFEF768D85257D31005ED255/$FILE/BC-1994-3%20p20.pdf)>. Acesso em: 28 set. 2016.

HAVLIN, J. L.; TISDALE, S. L.; NELSON, W.L.; BEATON, J. D. *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. 7. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005.

LAMOND, R. E.; LEIKAM, D. F. *Chloride in Kansas: plant, soil and fertilizer considerations*. Manhattan: Kansas State University Agriculture Experiment Station and Extension Service, 2002. (Bulletin MF-2570).

Tabela 2. Produtividade e teor foliar em função da aplicação de Cl⁻ em trigo, milho e sorgo grânifero em Kansas (Estados Unidos).

Cultura	Produtividade de grãos (kg/ha)			Cl ⁻ nas folhas (%)		Experimentos (nº)
	Controle	Com aplicação de 22,4 kg/ha Cl ⁻	Ganho em relação ao controle	Controle	Com aplicação de 22,4 kg/ha Cl ⁻	
Trigo de inverno	54,2	58,8	4,6	0,33	0,48	34
Milho	117,0	122,0	5,0	0,19	0,30	11
Sorgo grânifero	110,4	121,3	10,9	0,11	0,27	20

Os tecidos das plantas foram coletados no estádio de enchimento de grãos para o trigo e o sorgo grânifero e no pendoamento para o milho. Ref. #11 #17022

Fonte: Baseada em Mengel e outros (2009, p. 21, tradução nossa).

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

O ferro (Fe) é um nutriente exigido por seres vivos como micro-organismos, plantas, animais e humanos. Foi primeiramente reconhecido como um nutriente necessário para as plantas em meados do século XIX, quando uvas deficientes em Fe foram tratadas com sucesso utilizando aplicações foliares de sais de Fe. O Fe é componente de muitas enzimas vitais para as plantas e é exigido em uma ampla gama de funções biológicas. É comum na crosta terrestre e, como resultado, a maioria dos solos contém Fe em abundância, mas em formas com baixa solubilidade e, algumas vezes, não prontamente disponíveis para a absorção pelas plantas.

Ferro nos solos

O Fe é abundante em muitas rochas e minerais e, à medida que os solos se desenvolvem, pode haver tanto enriquecimento como diminuição de Fe. A diminuição comumente leva à deficiência e o enriquecimento pode causar toxicidade em condições específicas. Os minerais secundários (óxidos) dos solos são a principal fonte de Fe para uso pelas plantas, que é adsorvido ou precipitado em partículas minerais do solo e na matéria orgânica. Embora o Fe seja muito abundante, sua disponibilidade para a absorção pelas plantas é bastante baixa.

Ferro nas plantas

As raízes das plantas absorvem Fe da solução do solo mais prontamente como íons Fe^{2+} (ferroso), mas também, em alguns casos, como íons Fe^{3+} (férico). A natureza química do Fe permite que ele desempenhe papel essencial em reações de oxidação e redução, respiração, fotossíntese e reações enzimáticas. Por exemplo, o Fe é um importante componente de enzimas usadas por bactérias fixadoras de nitrogênio.

A concentração de Fe nos tecidos foliares varia entre as espécies de plantas, mas geralmente situa-se entre 50 ppm e 250 ppm (base em peso seco). Se a concentração de Fe for menor do que 50 ppm, geralmente há sinais de deficiência, ao passo que efeitos tóxicos podem ser observados quando a concentração excede 500 ppm.

A solubilidade de minerais que contêm óxido de Fe no solo é muito baixa e, portanto, as raízes das plantas possuem dois caminhos principais para acessar os íons Fe^{2+} ou Fe^{3+} . A primeira estratégia ocorre em espécies de dicotiledôneas e espécies de monocotiledôneas não gramíneas, nas quais os íons Fe^{3+} são reduzidos a íons Fe^{2+} antes de entrar nas raízes por intermédio de membranas seletivas. Esse processo envolve a excreção pelas raízes de vários compostos orgânicos e ácidos no solo. Na segunda estratégia, as raízes de espécies de gramíneas obtêm Fe excretando um quelato orgânico (sideróforo) que solubiliza o Fe do solo, permitindo absorção acentuada.



FOTO IPNI BIACHINI.



FOTO IPNI SHARMA E KUMAR.



FOTO IPNI SHARMA E KUMAR.

Deficiência de ferro em soja (esquerda), sorgo (no meio) e trigo (direita).

Fatores do solo e deficiência de ferro

A maioria dos solos contém Fe em teores adequados para a nutrição de plantas, mas fatores químicos e ambientais restringem sua absorção pelas plantas. As deficiências de Fe são comumente observadas em solos com elevado pH (> 7,5), especialmente onde há abundância de carbonato de cálcio (calcário). A solubilidade do Fe é bastante aumentada à medida que o pH do solo cai, atingindo o patamar ácido.

Solos contendo abundância de carbonato de cálcio podem formar íons bicarbonato (HCO_3^-) se ficarem excessivamente úmidos, interferindo na absorção de Fe pelas plantas. Essa inibição geralmente é temporária, e os sintomas de deficiência de Fe desaparecem quando o excesso de água é drenado e o solo se aquece.

Quando os solos se tornam saturados, os íons Fe^{3+} são convertidos a Fe^{2+} por ação microbiana. Os íons Fe^{2+} estão em uma forma muito mais solúvel e podem até mesmo causar toxicidade em algumas variedades de arroz em solos inundados em condições fortemente ácidas.



As plantas que crescem em solos com baixo teor de matéria orgânica são geralmente mais suscetíveis à deficiência de Fe do que aquelas que se desenvolvem em solos com matéria orgânica abundante. Os compostos de húmus são eficientes em formar ligações e liberar íons Fe na solução do solo. As partes do campo que sofrem erosão (baixo teor de matéria orgânica no solo) tendem a ser mais suscetíveis à deficiência de Fe.

Como muitos fatores ambientais e do solo se combinam para regular o fornecimento de Fe para as plantas, não há um método que seja mais amplamente aceito para análise de solos que possa prever a necessidade de adubação suplementar.

Sintomas de deficiência e toxicidade de ferro

Os sintomas de deficiência de Fe são universais entre as espécies de plantas, geralmente causando enfezamento e amarelecimento de folhas mais jovens. As folhas jovens deficientes em Fe desenvolvem clorose (amarelecimento) entre as nervuras, enquanto estas permanecem inicialmente verdes. À medida que a deficiência se torna mais severa, as folhas mais jovens se tornam de amarelo-pálidas a brancas. O jovem tecido é impactado primeiro porque o Fe é muito pouco móvel dentro das plantas e não é prontamente translocado dos tecidos mais velhos para os mais jovens.

A toxicidade de Fe é relativamente rara, mas os sintomas incluem folhas bronzeadas e listradas. Esses efeitos são resultado do excesso de radicais hidroxila que interrompem funções celulares. Em decorrência da importância de manter as concentrações de Fe nos tecidos das plantas dentro de níveis adequados, todo o processo de absorção deste nutriente pelas raízes (ou seja, o movimento das raízes para as brotações, o armazenamento e a liberação dentro das células da planta) é altamente regulado.

A análise de Fe nos tecidos pode ser complicada, uma vez que qualquer grão de poeira presente na superfície da folha também contém Fe. Assim, a lavagem ou o enxágue das folhas é recomendado antes da análise de Fe. A maioria das análises de tecidos é feita com amostras de folhas jovens, pois estas geralmente são as que primeiro apresentam os sintomas de deficiência.

Adubação em casos de deficiência de ferro

Quando fertilizantes inorgânicos contendo Fe são adicionados ao solo (por exemplo, sulfato férrico, sulfato ferroso, fosfato ferroso de amônio, sulfato ferroso de amônio e óxido de ferro), estes são rapidamente convertidos a formas solúveis e propiciam benefício mínimo para a nutrição das plantas. Os fertilizantes contendo Fe protegidos por um quelato orgânico podem ser eficientemente aplicados no solo para corrigir deficiências nas plantas. Por exemplo, fertilizantes quelados como Fe-EDDHA e Fe-EDTA têm eficácia razoável (Tabela 1), mas seu custo é geralmente proibitivo para aplicações em grande escala. Os produtos foliares contendo sais ou quelatos de Fe são eficientes para corrigir deficiências deste nutriente durante o ciclo de cultivo das plantas, mas pode ser necessário repetir as aplicações para prevenir a recorrência da deficiência.

Resposta das culturas a ferro

Vários recursos podem ser usados para corrigir a deficiência de Fe nas plantas. Dependendo das condições locais, algumas dessas soluções podem ser mais práticas do que outras.

- Cultivar variedades de plantas especificamente adaptadas às condições locais e que sejam tolerantes a baixos teores de Fe no solo. Existem grandes diferenças genéticas entre as cultivares e uma mudança de variedade geralmente é eficiente para lidar com condições de solo mais desafiadoras (Figura 1).

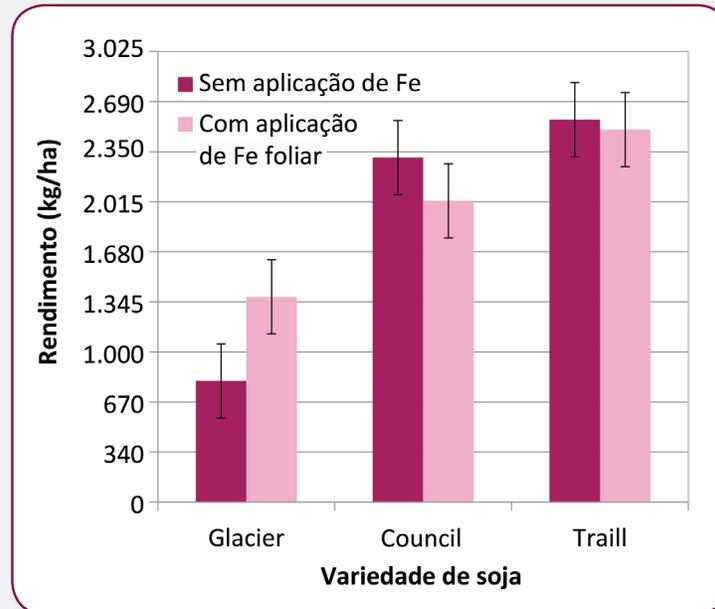


Figura 1. Rendimento de grãos de três variedades de soja cultivadas em solo calcário. A variedade Glacier, suscetível à deficiência de Fe, respondeu positivamente à aplicação foliar deste nutriente, enquanto nenhuma resposta foi observada para as variedades tolerantes Council e Traill. As barras representam diferença mínima significativa (DMS) a 5% de probabilidade. Fonte: Goos e Johnson (2000, tradução nossa).

- Aplicar fertilizante contendo Fe na forma de um sal inorgânico ou um material quelado ao solo.
- Fazer aplicações foliares de solução contendo Fe para prevenir ou corrigir deficiências. Essa prática não corrige quaisquer problemas ocultos no solo que possam impedir a adequada absorção de Fe, mas pode auxiliar na eliminação de limitações ao crescimento em decorrência da deficiência de Fe.
- Adicionar material que acidifique o solo com pH elevado para melhorar a solubilidade do Fe. Essa acidificação pode ser feita na área toda ou em tratamento localizado na zona radicular, o que, geralmente, é suficiente para melhorar a disponibilidade de Fe.
- Melhorar a disponibilidade de Fe cultivando duas espécies de plantas simultaneamente. A habilidade de uma cultura em solubilizar e absorver o Fe

algumas vezes resulta em compartilhamento deste nutriente com uma cultura acompanhante que tem menor capacidade de absorvê-lo (Tabela 1).

Tabela 1. Rendimento relativo de duas variedades de soja, uma suscetível e outra tolerante à deficiência de ferro, em comparação com a variedade tolerante cultivada em solo com teor adequado de ferro (100%).

Cultura acompanhante	Adubação com Fe-quelato	Variedade suscetível	Variedade tolerante
		Rendimento relativo (%)	
Não	Não	48 e	82 c
Não	Sim	71 d	87 bc
Sim	Não	73 d	76 cd
Sim	Sim	87 bc	93 ab

Os tratamentos incluíram adubação com Fe-quelato ou a presença de aveia como cultura acompanhante em solo com deficiência aguda de ferro.

Médias seguidas das mesmas letras não diferem no nível de 10% ($p \leq 0,10$) de significância para ambas as variedades.

Fonte: Kaiser e outros (2014, tradução nossa).

Referências

- GOOS, R. J.; JOHNSON, B. E. A comparison of three methods for reducing iron-deficiency chlorosis in soybean. *Agronomy Journal*, Madison, v. 92, no. 6, p. 1135–1139, 2000. doi: 10.2134/agronj2000.9261135x.
- KAISER, D. E.; LAMB, J. A.; BLOOM, P. R.; HERNANDEZ, J. A. Comparison of field management strategies for preventing iron deficiency chlorosis in soybean. *Agronomy Journal*, Madison, v. 106, no. 6, p. 1963–1974, 2014. doi: 10.2134/agronj13.0296.

Molibdênio

Nº 13

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

O molibdênio (Mo) é um micronutriente exigido em quantidades muito pequenas para o crescimento tanto de plantas quanto de animais. Deficiências de Mo nas culturas agrícolas são bastante incomuns, mas há vários fertilizantes de solo e foliares que podem ser usados para corrigir o problema quando ele ocorre.

Molibdênio nas plantas

Todas as plantas necessitam de quantidades muito pequenas de Mo para seu crescimento e desenvolvimento normais. Entre os micronutrientes de plantas, o Mo e o níquel (Ni) são exigidos nas mais baixas concentrações.

Na planta, o Mo é principalmente usado para a produção de molibdoenzimas que regulam várias funções fisiológicas. A mais conhecida entre as molibdoenzimas regula a nutrição de nitrogênio (N). Em espécies não leguminosas, as molibdoenzimas regulam a conversão de nitrato em proteínas (nitrato redutase). Em espécies de leguminosas, uma outra molibdoenzima (nitrogenase) é requerida pelas bactérias que formam nódulos nas raízes para a fixação de N. As leguminosas têm maior necessidade de Mo do que qualquer outra cultura.

A toxicidade de Mo nas plantas é rara na maioria das condições agrícolas. Entretanto, ovelhas e bovinos alimentados com plantas contendo alta concentração de Mo podem sofrer molibdenose. Esse problema resulta da supressão da disponibilidade de cobre (Cu) na dieta desses animais causada pelas altas concentrações de Mo.

Molibdênio nos solos

O Mo disponível para as plantas está na forma do ânion molibdato MoO_4^{2-} , liberado dos minerais sólidos por meio de processos normais de intemperização e submetido a várias reações no solo. Assim que são dissolvidos, os ânions MoO_4^{2-} estão sujeitos a processos de adsorção por argilas, óxidos de ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn), assim como compostos orgânicos e carbonatos.

A solubilidade de MoO_4^{2-} é bastante influenciada pelo pH do solo, de modo semelhante ao nutriente quimicamente análogo fosfato (PO_4^{3-}). Mo tem sua disponibilidade aumentada para as plantas à medida que o pH do solo aumenta. A solubilidade de MoO_4^{2-}



FOTO IPNI SNYDER

Em primeiro plano, soja deficiente em molibdênio.

umenta aproximadamente 100 vezes para cada unidade de aumento do pH do solo. Portanto, o uso de calcário para aumentar o pH de solos ácidos é uma importante ferramenta de manejo para melhorar a disponibilidade de Mo. Nos solos com $\text{pH} \geq 6$ é incomum encontrar deficiência de Mo.

A adição de fertilizante contendo sulfato (SO_4^{2-}) tende a diminuir a absorção de MoO_4^{2-} , pois ambos competem pelos sítios de absorção nas raízes. Um estudo mostrou que a concentração de Mo em amendoineiro diminuiu em mais de 70% após adubação com superfosfato simples (SSP), o qual contém o íon SO_4^{2-} na sua composição, mas aumentou em 20% após adubação com superfosfato triplo (TSP) que não contém sulfato (REBAFKA et al., 1993). A adição de fosfato geralmente resulta em liberação de Mo, que é adsorvido nos colóides do solo, levando a maior absorção e acúmulo deste micronutriente nas plantas.

Adubação com molibdênio

Em muitos solos, a aplicação de corretivos (calcário) para aumentar o pH libera Mo a partir de formas insolúveis. Um estudo mostrou que apenas a adição de calcário resultou na mesma produtividade de soja obtida quando fertilizante contendo Mo foi adicionado ao solo que não recebeu calcário



INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

AV. INDEPENDÊNCIA, 350, SALA 142, BAIRRO ALTO, 13419-160
PIRACICABA, SP, BRASIL
TELEFONE: (19) 3433-3254 | WEBSITE: <http://brasil.ipni.net>
TWITTER: @IPNIBRASIL; FACEBOOK: <https://www.facebook.com/IPNIBrasil>

(PARKER; HARRIS, 1962). Entretanto, a liberação química de Mo solúvel após a aplicação de calcário pode levar semanas ou meses para ocorrer.

Se o calcário não for necessário para o crescimento da cultura, ou quando a concentração de Mo no solo for baixa, pode ser útil aplicar Mo adicional das seguintes maneiras:

Solo: Os fertilizantes contendo Mo podem ser aplicados em faixas ou a lanço ao solo. O micronutriente é comumente aplicado em pequenas quantidades, variando de 0,5 kg/ha a 2,2 kg/ha, geralmente misturado com outros fertilizantes para que a aplicação seja feita com uniformidade, ou dissolvido em água e pulverizado no solo antes do plantio. O trióxido de Mo (MoO_3) é adequado apenas para aplicações ao solo em decorrência de sua baixa solubilidade.

Foliar: Fontes solúveis de Mo, como molibdato de sódio ou de amônio, são usadas em aplicações foliares, via soluções diluídas, e são normalmente mais eficientes quando aplicadas em estádios precoces de desenvolvimento das plantas. As aplicações foliares são benéficas para correção imediata dos sintomas de deficiência de Mo em comparação com as aplicações via solo que, por sua vez, têm benefício residual por tempo mais longo.

Semente: O tratamento de sementes com pequenas quantidades de fertilizante contendo Mo é comum em regiões onde ocorre a deficiência deste micronutriente. Essa técnica assegura que a cada semente seja fornecida uniformemente uma quantidade pequena mas adequada de Mo para o pleno desenvolvimento da planta. Algumas vezes, a inoculação com *Rhizobia* para leguminosas é acompanhada da aplicação de pequenas quantidades de Mo para promover vigorosa fixação de N. Taxas de aplicação excessivamente altas podem diminuir a germinação de sementes ou causar acúmulo de Mo em concentrações que podem ser danosas para o pastejo dos animais.

A seleção de um fertilizante específico contendo Mo depende, em grande parte, de como o material será aplicado. Alguns exemplos de fertilizantes comuns contendo Mo são apresentados na Tabela 1.

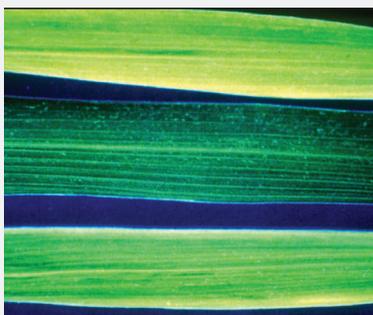
Tabela 1. Fertilizantes comuns contendo molibdênio.

Nome	Fórmula química	Teor de Mo (%)	Solubilidade (g/L)
Molibdato de sódio	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	39	653
Molibdato de amônio	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	54	400
Trióxido de molibdênio	MoO_3	66	3

Sintomas de deficiência de molibdênio

O Mo é móvel nas plantas e os sintomas de sua deficiência podem aparecer na planta inteira.

Não leguminosas: Como a presença em quantidade adequada de Mo é essencial para que ocorra o efetivo metabolismo de N, as deficiências deste micronutriente comumente aparecem na forma de plantas atrofiadas e na incapacidade das folhas de desenvolver a cor verde-escura. Em presença de deficiências mais severas, as folhas podem desenvolver uma área



Variação na intensidade do sintoma de deficiência de molibdênio em folhas de arroz.

FOTO: IPNI/YAMADA.

verde-pálida ou amarela ao redor das bordas e entre as nervuras.

Os sintomas avançados de deficiência de Mo podem aparecer como queimaduras (necrose) ao redor das bordas da folha e entre as nervuras, porque as plantas não podem assimilar o nitrato e convertê-lo em proteína.

Um sintoma bem conhecido de deficiência de Mo foi descrito em couve-flor, na qual a lamela foliar não é formada adequadamente e, em casos extremos, somente as nervuras da folha estão presentes, o que é conhecido como "rabo de chicote".

Leguminosas: Essas plantas apresentam necessidade adicional de Mo, pois este é exigido para a fixação de N pelas bactérias fixadoras, além da utilização interna de nitrato. Os sintomas de deficiência de Mo incluem atrofia geral e amarelecimento, tipicamente resultantes de fornecimento insuficiente de N.

Resposta das culturas a molibdênio

O benefício do fornecimento adequado de Mo se relaciona mais comumente com o estímulo à habilidade das plantas em utilizar N. As plantas com deficiência de Mo nem sempre necessitam de adubação suplementar, especialmente em solos ácidos, onde a aplicação de calcário aumenta a disponibilidade deste micronutriente para as plantas. De modo semelhante, a adição de fertilizantes contendo fósforo (P) libera Mo na solução do solo após sua troca com MoO_4^{2-} nos sítios de adsorção do solo.

Em áreas onde não há adequado teor de Mo, as adubações suplementares resultam em grande aumento de crescimento e produtividade das plantas. Um estudo demonstrou grande aumento de produtividade em leguminosas tanto com aplicações de Mo quanto com adições de calcário, como mostrado na Figura 1 (HAGSTROM; BERGER, 1963). Em outro estudo, observou-se que a produção de melões aumentou de 19 unidades nas parcelas sem adubação com Mo para 250 unidades nas parcelas que receberam aplicação foliar deste micronutriente (GUBLER et al., 1982).

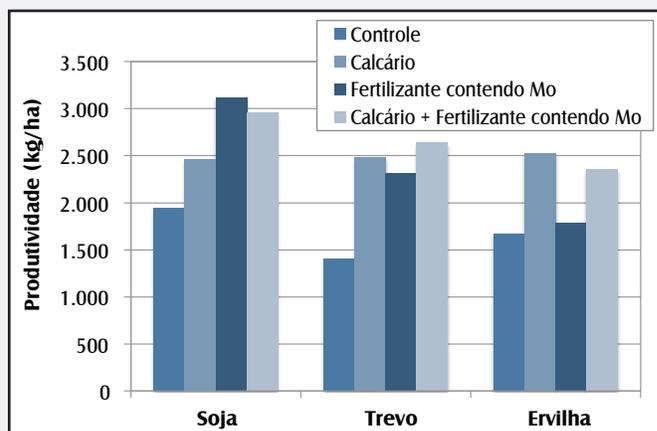


Figura 1. Efeito da aplicação de calcário e fertilizante com molibdênio na produtividade de três culturas.

Fonte: Hagstrom e Berger (1963).

Referências

- GUBLER, W. D.; GROGAN, R. G.; OSTERLI, P. P. Yellows of melons caused by molybdenum deficiency in acid soil. *Plant Disease*, Saint Paul, v. 66, no. 6, p. 449-451, 1982.
- HAGSTROM, G. R.; BERGER, K. C. Molybdenum status of three Wisconsin soils and its effect on four legume crops. *Agronomy Journal*, Madison, v. 55, no. 4, p. 399-401, 1963. doi: 10.2134/agronj1963.00021962005500040031x.
- PARKER, M. B.; HARRIS, H. B. Soybean response to molybdenum and lime and the relationship between yield and chemical composition. *Agronomy Journal*, Madison, v. 54, no. 6, p. 480-483, 1962. doi: 10.2134/agronj1962.00021962005400060004x.
- REBAFKA, F. P.; NDUNGURU, B. J.; MARSCHNER, H. Single superphosphate depresses molybdenum uptake and limits yield response to phosphorus in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) grown on an acid sandy soil in Niger, West Africa. *Fertilizer Research*, The Hague, v. 34, no. 3, p. 233-242, 1993. doi: 10.1007/BF00750569.

Silício

Nº 14

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

O silício (Si) não é normalmente considerado um elemento essencial para o crescimento das plantas. Entretanto, em decorrência de seu importante papel na nutrição dos vegetais, particularmente sob condições de estresse, atualmente é reconhecido como um “nutriente benéfico”.

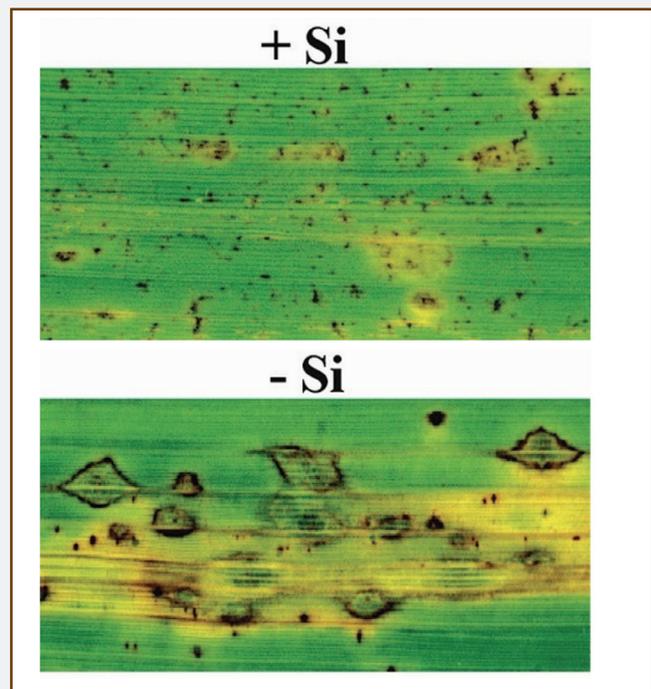
Silício nas plantas

O Si se refere ao elemento químico, enquanto a sílica ou o dióxido de Si (SiO_2) são compostos sólidos, com aparência de vidro, que contêm Si e oxigênio (O). As raízes das plantas absorvem Si solúvel do solo na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4). Esse é translocado através da planta até ser depositado e precipitado em seus espaços intercelulares (EPSTEIN, 2009).

Ao formar estruturas sólidas nos tecidos das plantas (chamadas de fitólitos), o Si confere um reforço importante às paredes celulares, sem ter um papel direto no metabolismo da planta. Muitas plantas, especialmente gramíneas, acumulam grandes quantidades de Si, o que contribui para fortalecer os caules e auxiliá-los a ficar eretos. O acúmulo de sílica nas folhas de cana-de-açúcar lhes confere proteção contra exposição excessiva à luz ultravioleta, evitando a ocorrência de sardas. A presença dessas pequenas partículas sólidas de sílica em folhas e caules também ajuda a proteger algumas plantas contra vários estresses ambientais, ataques de insetos e doenças (HECKMAN, 2013).

A deposição de Si entre as células também traz outros benefícios além da força mecânica, embora se saiba menos acerca destas contribuições para o crescimento da planta. Por exemplo, Si é benéfico para estimular as defesas naturais da planta contra patógenos fúngicos pela ativação de vários compostos orgânicos e enzimas.

As quantidades de Si absorvidas e acumuladas pelas plantas variam de acordo com a espécie, mas podem ser significativas. As plantas superiores são divididas em três grupos principais de acordo com sua habilidade de acumular Si. Os maiores concentrações de Si (até 10%) são encontradas em cavalinhas e algumas gramíneas de várzea. Outras gramíneas, como cana-de-açúcar, a maioria



WWW.APSNET.ORG

Desenvolvimento de sintomas de brusone em folha de arroz com (acima) ou sem (abaixo) adição de silício.

dos cereais e algumas dicotiledôneas contêm de 1% a 3% de Si. As concentrações mais baixas de Si (< 0,5%) são encontradas na maioria das dicotiledôneas, especialmente leguminosas. As plantas com concentrações de Si > 1% são classificadas como “acumuladoras”, as que têm concentrações de Si < 0,5% são “excludentes” e as que têm concentrações de Si entre esses níveis são conhecidas como “intermediárias”. Alguns exemplos de concentrações de Si em várias culturas são mostrados na **Tabela 1**.

Silício nos solos

O Si perde apenas para o O em quantidade presente na crosta terrestre. Os solos comumente contêm até 30% de Si, quase todo encontrado em minerais e rochas. A falta de Si nos solos não é comum, mas a concentração de ácido monossilícico solúvel pode



INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

AV. INDEPENDÊNCIA, 350, SALA 142, BAIRRO ALTO, 13419-160
PIRACICABA, SP, BRASIL
TELEPHONE: (19) 3433-3254 | WEBSITE: <http://brasil.ipni.net>
TWITTER: @IPNIBRASIL; FACEBOOK: <https://www.facebook.com/IPNIBrasil>

Table 1. Concentração de silício em brotações de várias culturas.

Cultura	Si (% peso seco)
Arroz	4,2
Trigo	2,5
Cevada	1,8
Cana-de-açúcar	1,5
Soja	1,4
Milho	0,8
Mandioca	0,5

Fonte: Baseada em Hodson e outros (2005, tradução nossa).

Adubação com silício

Como as necessidades de Si nas plantas não estão claramente determinadas, é difícil prever as necessidades de fertilizantes contendo este micronutriente. Quando requerido, a abordagem mais comum é a aplicação de Si em combinação com outros nutrientes. A fonte fertilizante contendo Si mais comumente aplicada é o silicato de cálcio (CaSiO_3) abundante em escória de siderurgia, mas também de ocorrência natural como o mineral wollastonita. O silicato de cálcio pode ser usado na correção da acidez de solos. Outras fontes fertilizantes contendo Si são silicato de potássio (K_2SiO_3) e silicato de sódio (Na_2SiO_3), que podem ser aplicadas em culturas hortícolas de alto valor utilizando-se sistemas de irrigação por gotejamento.

Sintomas de deficiência de silício

Os sintomas visuais de deficiência de Si nas plantas geralmente não são observados diretamente. Em decorrência de sua abundância natural no solo e na água (mesmo água altamente purificada contém traços de Si), em experimentos sem Si, as folhas de plantas acumuladoras podem conter de 1 a 4 mg SiO_2/g de peso seco de folha, o que contribui para a dificuldade em determinar a essencialidade do Si para o crescimento das plantas.

Os sintomas de deficiência de Si mais comumente observados são efeitos secundários, como o aumento de doenças ou danos causados por pragas nas plantas que não recebem teor adequado deste nutriente (Figura 1), falta de força no caule, ou sintomas de estresse abiótico, como sardas nas folhas de cana-de-açúcar (Figura 2).

ser muito baixa para satisfazer as necessidades de certas culturas. As concentrações de Si solúvel geralmente variam entre 3,5 mg/L e 40 mg/L, com média de cerca de 14 mg/L a 20 mg/L na maioria dos solos agrícolas.

A textura do solo é considerada um dos fatores mais importantes que afetam a concentração de Si na solução do solo. A baixa capacidade de retenção de água dos solos arenosos impede o acúmulo de Si. Os solos tropicais altamente intemperizados tendem a ter teores mais baixos de Si, assim como os solos que contêm teores muito altos de matéria orgânica, como turfas e solos ricos em húmus.

Resposta das culturas a silício

Várias culturas, incluindo milho, trigo, aveia, abóbora, pepino e várias espécies ornamentais respondem favoravelmente a adições de Si sob certas condições. Os resultados positivos mais frequentemente observados ocorreram em arroz (Tabela 2) e cana-de-açúcar (Tabela 3).

Sem regras adequadas para as análises de solo ou de tecido, não há recomendações de rotina para predizer quando haverá respostas benéficas à adição de Si. Há vários exemplos de respostas positivas à adubação com Si, mas ainda há muito o que aprender acerca deste nutriente potencialmente benéfico.

Tabela 2. Resposta em termos de produtividade de grãos de arroz à adubação com metassilicato de cálcio.

Aplicação de CaSiO_3 (t/ha)	Produtividade de grãos de arroz (t/ha)
0	2,24
1	2,49
2	2,51
4	3,09
6	3,29

¹42% SiO_2 .

Fonte: Baseada em Santos e outros (2003).

Tabela 3. Efeito da aplicação de cimento como fonte de Si na cana-planta em duas variedades de cana-de-açúcar (SP 79-1011 e RB 72-454).

Dose de cimento (t/ha)	Produtividade (t/ha)
0	104
0,5	107
1,0	110
2,0	112
4,0	118

Fonte: Baseada em Korndörfer, Pereira e Camargo (2002).

Referências

- EPSTEIN, E. Silicon: its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology*, Warwick, v. 155, p. 155–160, 2009. Disponível em: <<http://ggha.ucdavis.edu/Seminars/SSC290.W10.paper.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2016.
- HECKMAN, J. Silicon: a beneficial substance. *Better Crops with Plant Food*, Atlanta, v. 97, no. 4, p. 14–16, 2013. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/26A7E8FDB7F2FBFB85257C28007A07BB/\\$FILE/BC%202013-4%20p14.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/26A7E8FDB7F2FBFB85257C28007A07BB/$FILE/BC%202013-4%20p14.pdf)>. Acesso em: 29 set. 2016.
- HODSON, M. J.; WHITE, P. J.; MEAD, A.; BROADLEY, M. R. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. *Annals of Botany*, London, v. 96, no. 6, p. 1027–1046, 2005. Disponível em: <<http://aob.oxfordjournals.org/content/96/6/1027.full.pdf+html>>. Acesso em: 29 set. 2016.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Papel do silício na produção da cana-de-açúcar. *Revista STAB*, Piracicaba, v. 21, n. 1, p. 6–9, 2002. Disponível em: <<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/Silicio/Arquivos%20Papers/STAB,%20v.21,%20n.1.%202002%20Papel%20do%20Si%20na%20Cana.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2016.
- SANTOS, G. R.; KORNDÖRFER, G. H.; REIS FILHO, J. C. D.; PELÚZIO, J. M. Adubação com silício: influência sobre as principais doenças e sobre produtividade do arroz irrigado por inundação. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 50, n. 287, p. 1–8, 2003. Disponível em: <<http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/2852/709>>. Acesso em: 29 set. 2016.

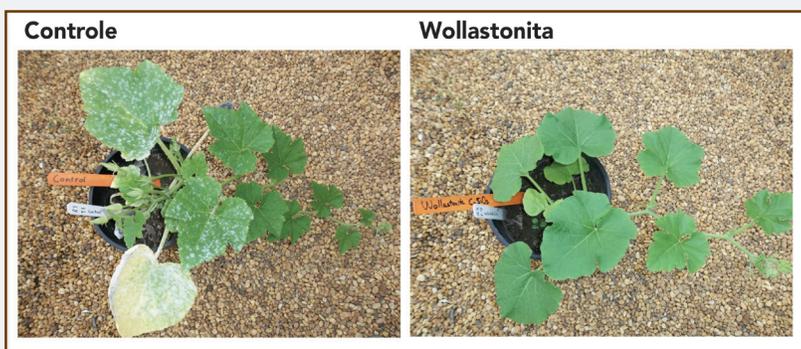


Figura 1. Supressão de oídio em plantas de abóbora após aplicação de silicato de cálcio (wollastonita).

Fonte: Heckman (2013, p. 14, tradução nossa).



Figura 2. Sardas nas folhas são sintoma de baixo silício em cana-de-açúcar que recebe incidência direta da luz do sol. Considera-se que o silício é um filtro para a radiação UV prejudicial.

Cobalto

Nº 15

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

Há relatos ocasionais de que a adubação com cobalto (Co) traz benefícios para o crescimento das culturas, mas a necessidade de suplemento com este micronutriente é bastante rara. Apenas recentemente, o Co foi reconhecido como nutriente potencialmente essencial para as plantas. É necessário para a fixação de nitrogênio (N), ocorrendo dentro dos nódulos radiculares de leguminosas.

O Co é um elemento metálico localizado na mesma linha da tabela periódica de muitos outros micronutrientes (**Tabela 1**). Esse grupo de metais é muito importante para reações químicas na maioria dos organismos, especialmente em reações envolvendo enzimas. Há muito tempo o Co é reconhecido como essencial para os animais. Entretanto, a compreensão de seu papel essencial em reações enzimáticas nas plantas é ainda incompleta.

Tabela 1. O cobalto em relação a outros metais de transição próximos que são micronutrientes de plantas.

Elemento	Símbolo	Número atômico	Peso atômico
Manganês	Mn	25	54,93
Ferro	Fe	26	55,84
Cobalto	Co	27	58,93
Níquel	Ni	28	58,69
Cobre	Cu	29	63,54
Zinco	Zn	30	65,40

A função mais conhecida do Co nas plantas é para os micro-organismos fixadores de N, como *Rhizobia*, que vivem simbioticamente com leguminosas. Em bactérias fixadoras de N, o Co é um componente vital requerido para sintetizar vitamina B₁₂, necessária para a formação de hemoglobina. O teor de hemoglobina nos nódulos radiculares de leguminosas é diretamente relacionado com o sucesso da fixação de N.

Cobalto nas plantas

Algumas plantas parecem se beneficiar de quantidades muito pequenas de Co, mas a concentração benéfica deste micronutriente para as plantas não é conhecida. As concentrações de Co na matéria seca de forrageiras normalmente variam de 0,01 ppm a 0,5 ppm. A concentração ideal de Co nas misturas de forrageiras é de, no mínimo, 0,1 ppm para satisfazer as necessidades nutricionais dos animais. Há maior absorção de Co por plantas de folhas largas (leguminosas e espécies arbustivas) do que por espécies de gramíneas. Mesmo que um solo tenha comparativamente teores baixos de Co, o uso de leguminosas junto com gramíneas na mistura de forrageiras geralmente melhora o fornecimento de Co para o gado em pastejo.

Pesquisas recentes mostraram que o Co é um componente essencial de várias enzimas e coenzimas que podem afetar o crescimento e o metabolismo das plantas. Em condições de baixo conteúdo de Co, um pequeno aumento em seu teor estimula o crescimento tanto de algas simples como de plantas superiores. Entretanto, altas concentrações de Co podem tornar-se tóxicas para as plantas.

O Co é ativamente absorvido pelas raízes como Co²⁺, sendo transportado das raízes para a parte aérea via corrente transpiratória. O elemento forma complexos com compostos orgânicos, o que limita o movimento do Co²⁺ das folhas para outros órgãos, sendo, por isto, considerado pouco móvel nas plantas.

O conhecimento sobre o papel do Co na nutrição de plantas ainda é insuficiente. Alguns efeitos benéficos do Co incluem atraso da senescência de folhas, aumento da resistência à seca das sementes, regulação do acúmulo de alcaloides em plantas medicinais (PALIT et al., 1994) e bloqueio da síntese de etileno (BRADFORD et al., 1982), um hormônio de estresse em plantas. O Co não é encontrado no sítio ativo de quaisquer enzimas da cadeia respiratória, mas está envolvido na respiração mitocondrial (PALIT et al., 1994).

O Co é essencial na nutrição animal por causa da síntese de vitamina B₁₂. Em áreas onde ocorrem deficiências de Co em animais, pode-se optar por fornecer suplementos minerais para os animais ou adubar as culturas com Co. As deficiências de Co foram primeiramente identificadas em bovinos e ovinos em pastejo na Nova Zelândia e Austrália, os quais estavam consumindo ração com baixos teores deste micronutriente. Como o Co é essencial para



INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

AV. INDEPENDÊNCIA, 350, SALA 142, BAIRRO ALTO, 13419-160
PIRACICABA, SP, BRASIL
TELEFONE: (19) 3433-3254 | WEBSITE: <http://brasil.ipni.net>
TWITTER: @IPNIBRASIL; FACEBOOK: <https://www.facebook.com/IPNIBrasil>

os animais, baixas concentrações deste micronutriente em plantas forrageiras podem causar problemas para a saúde dos animais em pastejo. A maioria das pesquisas sobre Co em plantas teve como objetivo definir as concentrações críticas requeridas pelas forrageiras para dar suporte aos sistemas de produção para animais em pastejo.

Cobalto nos solos

O Co é encontrado em abundância média na crosta terrestre e em baixas concentrações na maioria dos solos, dependendo do material de origem. Solos desenvolvidos a partir de minerais como a olivina e o piroxênio têm bastante Co, que pode ser absorvido por plantas e animais em pastejo. A maior parte do Co está presente como Co^{2+} e participa de reações de troca de cátions no solo. Os solos com baixos teores de Co são geralmente intemperizados e têm textura grosseira (arenosa), nos quais o Co foi transportado para camadas mais profundas do perfil. Os solos com textura mais fina (argilosa) e aqueles contendo maiores teores de matéria orgânica tendem a ter maiores concentrações de Co.

Adubação com cobalto

A deficiência de Co em animais em pastejo (em decorrência de baixas concentrações de Co nas plantas) pode ser corrigida misturando sais contendo Co com um fertilizante ou com areia e espalhando sobre as pastagens (USDA, 1961). As quantidades de Co exigidas para melhorar o crescimento das leguminosas são muito baixas, de 0,04 kg/ha a 0,14 kg/ha (HAVLIN et al., 2014). Outros métodos para aumentar as concentrações de Co nas plantas são tratamento de sementes ou pulverizações foliares. O fornecimento de suplementos minerais diretamente aos animais em pastejo também pode amenizar possíveis deficiências.

Sintomas de deficiência de cobalto

Como quantidades adequadas de Co são exigidas para a fixação de N, as leguminosas que crescem em solos deficientes neste micronutriente desenvolvem sintomas de deficiência de N em decorrência da síntese inadequada de vitamina B_{12} . As espécies não leguminosas, como as gramíneas, podem crescer em solos com disponibilidade de Co mais baixa em comparação com espécies de leguminosas, mas os animais que se alimentam de forrageiras podem desenvolver sintomas de deficiência deste micronutriente. Não há sintomas visuais de deficiência de Co conhecidos para espécies não leguminosas.

Resposta das culturas a cobalto

A resposta mais comum das plantas à deficiência de Co é o amarelecimento e o enfezamento em leguminosas. A adubação de amendoim com Co aumentou as concentrações de N, fósforo

(P), potássio (K), manganês (Mn) e zinco (Zn), e também permitiu o uso mais eficiente da adubação suplementar com fertilizante nitrogenado (GAD, 2012). O crescimento do amendoim melhorou em 34% quando 8 ppm de Co foram dissolvidos na água de irrigação em comparação com ausência da adubação com Co. Essa resposta positiva do crescimento foi atribuída à melhora da fixação de N.

Há relatos sobre aumento do crescimento em espécies não leguminosas após tratamento de sementes com soluções diluídas de Co (Tabela 2). Por exemplo, a cultura da abóbora de verão respondeu ao tratamento de sementes com Co com aumento na produção de matéria seca, flores femininas e produtividade de frutos, enquanto a aveia respondeu a Co suplementar com aumento do comprimento das panículas, número de sementes por panícula e produtividade de grãos (FAROOQ et al., 2012). Os sintomas de acúmulo excessivo de Co aparecem como clorose internerval em folhas novas, seguida de margens e pontas das folhas brancas.

Pesquisas sobre a nutrição de plantas com Co mostraram que este não é apenas um elemento essencial para as bactérias fixadoras de N, mas também é benéfico, e possivelmente essencial, para inúmeras

espécies não leguminosas. Contudo, o teor crítico de Co nos solos para satisfazer a necessidade das plantas varia entre as espécies. As doses suplementares de Co fornecidas para as culturas como fertilizantes aplicados ao solo, tratamento de sementes e/ou aplicações foliares são muito baixas, havendo necessidade de mais pesquisa para melhorar a compreensão sobre o comportamento deste micronutriente.

Referências

BRADFORD, K. J.; HSIAO, T. C.; YANG, S. F. Inhibition of ethylene synthesis in tomato plants subjected to anaerobic root stress. *Plant Physiology*, Bethesda, v. 70, no. 5, p. 1503–1507, 1982. doi: 10.1104/pp.70.5.1503.

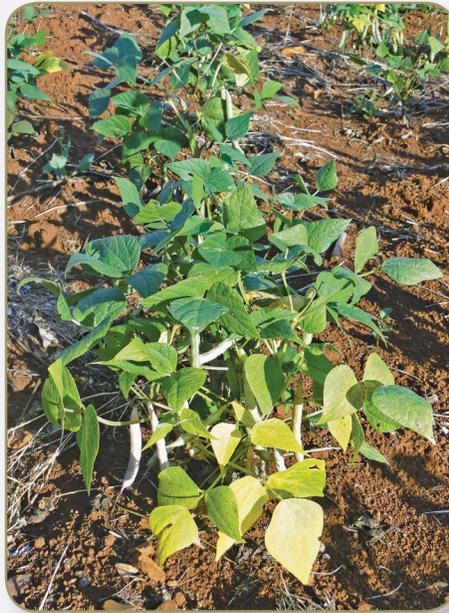
FAROOQ, M.; WAHID, A.; SIDDIQUE, K. H. M. Micronutrient application through seed treatments – a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, Temuco, v. 12, no. 1, p. 125–142, 2012.

GAD, N. Physiological and chemical response of groundnut (*Arachis hypogaea*) to cobalt nutrition. *World Applied Sciences Journal*, Dubai, v. 20, no. 2, p. 359–367, 2012. doi: 10.5829/idosi.wasj.2012.20.02.2818.

HAVLIN, J. L.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. *Soil fertility and fertilizers*. 8. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2014.

PALIT, S.; SHARMA, A.; TALUKDER, G. Effects of cobalt on plants. *Botanical Review*, New York, v. 60, no. 2, p. 149–181, 1994. doi: 10.1007/BF02856575.

USDA. United States Department of Agriculture. *Cobalt deficiency in soils and forages: how it affects cattle and sheep*. Washington, DC: USDA, 1961. Disponível em: <<https://archive.org/details/cobaltdeficiency488uspl>>. Acesso em: 4 dez. 2016.



Feijoeiro comum apresentando sintoma de deficiência de nitrogênio.

Tabela 2. Influência do tratamento de sementes com cobalto na produtividade de grãos de algumas culturas.

Fonte	Taxa de aplicação	Cultura	Aumento de produtividade em relação ao controle não tratado (%)
$Co(NO_3)_2$	1 mg/L, 1 h	Feijoeiro comum	53
$CoSO_4$	Solução a 0,001%, 1 h	Aveia	11
$CoSO_4$	0,5 mg/L, 48 h	Abóbora de verão	41

Fonte: Baseada em Farooq e outros (2012, p. 135, tradução nossa).

Níquel

Nº 16

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

O níquel (Ni) é o elemento mais recentemente adicionado à lista dos nutrientes de plantas. Embora tenha sido identificado como um componente da enzima urease em 1975, não foi formalmente reconhecido como um nutriente até 1987 (BROWN; WELCH; CARY, 1987). Antes disso, o cloreto (Cl) era o nutriente de plantas mais recentemente descoberto (1954). Relativamente pouco é conhecido acerca da nutrição de plantas com Ni em comparação com outros nutrientes de plantas. Informações mais detalhadas acerca de seu papel na nutrição de plantas podem ser encontradas no abrangente capítulo escrito por Wood (2015).

O Ni compõe apenas cerca de 0,009% da crosta terrestre, com a maior parte concentrada no núcleo do planeta. É bastante usado na produção de aço inoxidável e ligas metálicas. Também é usado na fabricação de moedas, baterias recarregáveis, produtos folheados e catalizadores.

Níquel nas plantas

As plantas absorvem Ni na forma solúvel Ni^{2+} , prontamente móvel dentro delas e este nutriente é preferencialmente translocado para o desenvolvimento de sementes em algumas espécies. Na maioria das folhas, a concentração de Ni normalmente varia de cerca de 0,1 ppm a 5 ppm (em peso seco), mas pode ser altamente variável, dependendo de sua disponibilidade nos solos, da espécie de planta, da parte da planta e da estação do ano. As concentrações de Ni nos tecidos superiores a 10 ppm são consideradas tóxicas para espécies sensíveis. O elemento se torna tóxico para espécies moderadamente tolerantes em concentrações maiores do que 50 ppm. Algumas espécies podem tolerar concentrações de Ni nos tecidos de até 50.000 ppm. Há 350 espécies “hiperacumuladoras”, que são definidas como plantas que podem acumular no mínimo 1.000 ppm de Ni sem sofrer fitotoxicidade.

A noz pecan é uma espécie que tem necessidade relativamente alta de Ni em decorrência de sua fisiologia peculiar. Para essa espécie, os sintomas de deficiência de Ni ocorrem quando sua concentração nos tecidos cai abaixo de 1 ppm, enquanto os de toxicidade ocorrem quando essa concentração excede 100 ppm. A variação adequada de Ni nos tecidos de noz pecan fica entre 2,5 ppm a 30 ppm. No entanto, esses valores dependem das concentrações de cátions competidores, como zinco (Zn^{2+}), cobre (Cu^{2+}) e ferro (Fe^{2+}).

Embora ainda haja muito a conhecer sobre as funções do Ni nas plantas, sabe-se que é um constituinte insubstituível da enzima urease, pois quer seja produzida pelas plantas, por micro-organismos ou por animais, contém Ni em seu núcleo. Essa enzima é essencial para a conversão da ureia em amônio (NH_4^+). Portanto, o Ni é exigido para a adequada nutrição nitrogenada das plantas (LIU; SIMONNE; LI, 2014). Sob certas condições, quando o Ni é insuficiente e a ureia é a principal fonte de N, pode haver acúmulo de ureia nas folhas até o ponto de toxicidade para a planta. Essa toxicidade, que se manifesta como necrose das pontas das folhas, na realidade, é um sintoma de deficiência de Ni.

Já foi demonstrado que o Ni desempenha um papel na proteção contra algumas doenças de plantas. Este micronutriente está envolvido na síntese de compostos químicos (fitoalexinas), que as plantas produzem para se defender de patógenos. A deficiência de Ni foi associada com a diminuição da produção de lignina, um componente das paredes celulares que fortalece as plantas e contribui para a sua resistência contra doenças.

Níquel nos solos

O Ni está presente em quase todos os solos agrícolas, os quais comumente têm concentrações deste nutriente entre 20 ppm e 30 ppm e raramente excedem 50 ppm. O Ni dos solos provém do material de origem geológico e de atividades humanas e sua concentração no solo pode exceder 10.000 ppm em regiões nas quais eles são formados a partir de materiais de origem com alto teor deste elemento. As concentrações de Ni também podem ser elevadas como resultado da deposição atmosférica perto de refinarias deste metal e de aplicações no solo de biossólidos e lodo de esgoto.

O mais importante fator do solo que afeta a disponibilidade e a solubilidade do Ni é o pH. A disponibilidade de Ni para as plantas diminui à medida que o pH do solo aumenta. Assim, as plantas cultivadas em solos com pH alto podem ser mais vulneráveis à deficiência de Ni. Outros fatores que reduzem a absorção de Ni pelas plantas são solos frios e/ou secos e danos causados às raízes por nematoides. Altas concentrações no solo de outros cátions metálicos, como Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} e cobalto (Co^{2+}) também podem inibir a absorção de Ni.

A análise de solo para Ni como um nutriente de plantas não é uma prática bem estabelecida, pois há poucas pesquisas na área de



INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

AV. INDEPENDÊNCIA, 350, SALA 142, BAIRRO ALTO, 13419-160
PIRACICABA, SP, BRASIL
TELEFONE: (19) 3433-3254 | WEBSITE: <http://brasil.ipni.net>
TWITTER: @IPNIBRASIL; FACEBOOK: <https://www.facebook.com/IPNIBrasil>



Exemplos de deficiência de níquel em noz pecan mostrando (sentido horário, começando no topo à esquerda) ponta da folha obtusa e distorcida; folha em concha e necrose da ponta da folha; roseta nos pontos de crescimento; normal (lado esquerdo) versus folhas com deficiência de níquel (lado direito).

Fonte: Cortesia de B. W. Wood, USDA-ARS.



nutrição e adubação com este micronutriente para a maioria das culturas. Entretanto, há metodologia estabelecida para a análise de solo para identificar Ni “ambientalmente disponível”. Esse procedimento envolve digestão com ácido muito forte e não é adequado para fazer recomendações de adubação.

Adubação com níquel

As aplicações de Ni no solo são raramente requeridas, pois a maioria das plantas é adequadamente suprida. Em adição a isso, alguns fertilizantes comumente aplicados já têm reduzidas quantidades de Ni. Nos casos em que é necessário utilizar fertilizante contendo Ni para tratar uma cultura com deficiência, este é mais frequentemente aplicado via pulverização foliar. Os sais de Ni (por exemplo, sulfato e nitrato) e as moléculas orgânicas de Ni (por exemplo, lignosulfonatos, heptogluconatos) são eficientes fertilizantes foliares. A forma de lignosulfonato de Ni é preferida por causa de potenciais preocupações com a segurança dos trabalhadores de campo em relação a outras fontes aplicadas via pulverização foliar.

Sintomas de deficiência de níquel

A ocorrência de sintomas de deficiência de Ni nas folhas não é tão comum quanto a de micronutrientes como Zn e Mn, mas há condições em que são observados. À medida que for se ampliando o conhecimento acerca do papel do Ni nas plantas, é provável que haja melhor compreensão sobre a sintomatologia e o diagnóstico. A deficiência de Ni, embora rara, é mais provável de ocorrer em solos que contenham alto teor de matéria orgânica, em culturas hidropônicas (solução nutritiva), em solos com pH alto, em locais onde as raízes foram danificadas por nematoides ou onde quantidades excessivas de Fe, Zn ou Cu tenham sido aplicadas.

Um sintoma de deficiência de Ni comum a várias espécies de plantas é a necrose das pontas das folhas em decorrência do acúmulo de ureia em concentrações tóxicas. Em plantas não lenhosas, os sintomas de deficiência também podem incluir clorose das folhas jovens, tamanho de folha reduzido e menor crescimento vertical das folhas.

Para culturas lenhosas perenes, uma clorose semelhante à que ocorre com deficiência de Fe ou enxofre (S) já foi observada como indicador precoce de deficiência de Ni. Outros sintomas mais severos que também foram observados em árvores de noz pecan incluem pontas arredondadas ou obtusas dos folíolos e nanismo da folhagem, produzindo o que se denomina “orelha de rato” ou “folha pequena”. Esse arredondamento das pontas dos folíolos é associado com acúmulo de ureia em níveis tóxicos (WELLS, 2012). Quando ocorre deficiência severa de Ni, a deformação da folha é geralmente mais acentuada no topo do dossel da árvore. A folhagem afetada fica mais espessa, menos flexível e tende a ficar quebradiça, podendo ficar em concha ou enrugada. A deficiência severa de Ni resulta em enfezamento da planta e padrões de crescimento anormais.

A toxicidade de Ni ocorre mais comumente em espécies que não são hiperacumuladoras, em locais perto de mineração ou indústrias, onde foram aplicados materiais residuais ou em solos serpentinizados. Os sintomas de toxicidade variam, mas, na maioria dos casos, se parecem com os sintomas de deficiência de Fe, uma vez que o Ni compete com o Fe dentro das plantas.

Referências

BROWN, P. H.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiology*, Bethesda, v. 85, no. 3, p. 801-803, 1987.

LIU, G.; SIMONNE, E. H.; LI, Y. *Nickel nutrition in plants*. Gainesville: University of Florida, IFAS Extension, 2014. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/HS/HS119100.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2016.

WELLS, L. *Mouse ear of pecan*. Athens: University of Georgia Cooperative Extension, 2012. (Circular 893). Disponível em: <<http://extension.uga.edu/publications/detail.cfm?number=C893>>. Acesso em: 30 set. 2016.

WOOD, B. W. Nickel. In: BAKER, A. V.; PILBEAM, D. J. (ed.) *Handbook of plant nutrition*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. p. 511-536.

Selênio

Nº 17

EDIÇÃO EM PORTUGUÊS

O selênio (Se) não é um nutriente de plantas, mas é exigido em muitas funções fisiológicas em humanos e animais. Como o Se é obtido principalmente a partir dos alimentos, seu acúmulo nas plantas tem impactos na saúde humana.

Selênio nas plantas

O Se não está diretamente envolvido em qualquer função metabólica essencial nas plantas e não é classificado como um elemento fundamental para o seu crescimento. Contudo, sua presença é essencial em mais de 20 proteínas humanas, nas quais está envolvido em diversos papéis, como antioxidante, proteção contra câncer, manutenção da defesa contra infecções e regulador de crescimento e desenvolvimento adequados (LYONS; CAKMAK, 2012).

O Se comporta-se de modo muito semelhante ao enxofre (S) e as plantas não distinguem entre esses dois elementos. O Se pode ser substituído pelo S em muitas proteínas e enzimas de plantas. As espécies de plantas que têm alta necessidade de S também têm tendência a acumular maiores quantidades de Se. Em concentrações muito altas de Se, essa substituição causa problemas metabólicos para as plantas. Entretanto, não há relatos de ocorrências naturais de danos causados por Se em culturas agrícolas no campo.

Faria (2009) avaliou o efeito do S na redução da absorção excessiva de Se por *Brachiaria brizantha*. A aplicação de fontes solúveis, como sulfato de amônio e sulfato férrico, diminuiu a absorção de Se pela gramínea.

Várias plantas não agrícolas são capazes de acumular Se em concentrações nas quais ele é tóxico quando consumido pelo gado. As plantas acumuladoras podem conter até 3.000 ppm de Se, em contraste com menos de 1 ppm na maioria das culturas agrícolas. As espécies de plantas variam em sua capacidade de absorção de Se, em ordem decrescente: crucíferas, gramíneas forrageiras e leguminosas (MALAVOLTA, 1980).

Selênio no solo

O Se é encontrado tanto em forma orgânica quanto inorgânica nos solos (Figura 1). Porém, as plantas somente utilizam o Se do solo na forma inorgânica. A matéria orgânica do solo é uma importante reserva deste nutriente, que se torna disponível para absorção pelas plantas ao longo do tempo.

As formas inorgânicas de Se incluem: **Selenato** (Se^{6+}) – esta forma (SeO_4^{2-}) é mais prontamente absorvida pelas plantas. É muito solúvel e se comporta de modo bastante semelhante ao sulfato (SO_4^{2-}). O selenato tem maior probabilidade de ser encontrado em solos bem aerados e com pH neutro. É translocado diretamente das raízes para as folhas e armazenado nos cloroplastos antes de ser convertido em compostos orgânicos, como selenometionina. A presença de

SO_4^{2-} em abundância no solo inibe a absorção de SeO_4^{2-} , pois eles competem por absorção nos mesmos sítios de transporte nas raízes.

Selenito (Se^{4+}) – esta forma (SeO_3^{2-}) é mais comumente encontrada em solos aerados e com pH ácido a neutro. O selenito é mais reativo com vários minerais do solo do que o selenato, o que o torna menos solúvel na solução do solo. Quando as plantas absorvem selenito, grande parte dele é convertido em compostos orgânicos

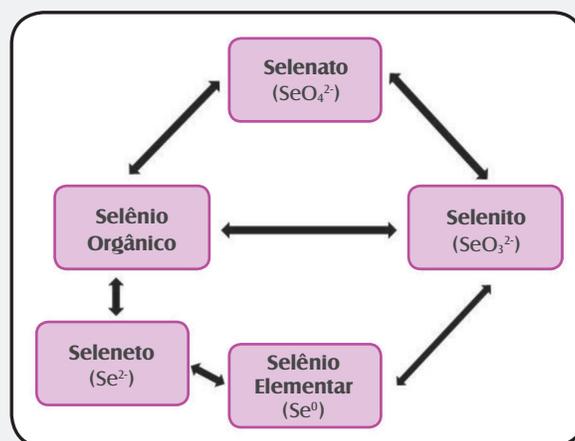


Figura 1. Ciclo do selênio no solo. Fonte: Mikkelsen (2013, p. 14, tradução nossa).



FOTO IPNI / R. MIKKELSEN



HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG



HTTP://FITNUTHEALTH.COM

Entre as **culturas que acumulam altos teores de selênio** estão plantas do gênero *Brassica*, castanha do pará, grãos integrais e sementes comestíveis. Um recurso útil para determinar o teor de nutrientes nos alimentos (incluindo Se) pode ser encontrado em: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/nutrients/index>.

(como selenometionina) antes da translocação pelo xilema.

Selênio elementar (Se⁰) – este é metálico, insolúvel e não disponível para absorção pelas plantas.

Seleneto (Se²⁻) – esta forma é principalmente encontrada em solos inundados. Pode ocorrer em combinações com uma variedade de minerais e compostos orgânicos. Está quase todo indisponível para a absorção pelas plantas.

Adubação dos solos com selênio

As plantas não são fertilizadas com Se para aumentar a produtividade, mas como suplementação deste nutriente nas partes colhidas das culturas ou nas pastagens (MIKKELSEN, 2013). Em alguns solos são produzidas culturas que contêm Se em concentrações muito baixas para satisfazer as necessidades nutricionais humanas e animais. Essa determinação só pode ser feita por meio de análises químicas, pois as plantas não apresentam sintomas de deficiência deste nutriente. Na Finlândia e Nova Zelândia, têm sido feito esforços para aumentar as concentrações de Se nas plantas através de adubação. Por causa da alta absorção de selenato e do risco de toxicidade para os humanos, em decorrência das concentrações excessivamente altas de Se, muitos agricultores preferem usar fertilizantes menos solúveis contendo selenito em locais onde a suplementação deste nutriente é requerida.

Os fertilizantes contendo selenato apresentam a forma mais prontamente disponível de Se para a absorção pelas plantas. O selenito não é tão solúvel no solo e é menos disponível para a absorção pelas plantas. Os fertilizantes contendo a fonte selenato aumentam as concentrações de Se nas plantas de 20 a 50 vezes mais do que as que contêm selenito. O Se elementar necessita de oxidação microbiana antes de tornar-se disponível para a absorção pelas plantas e não é usado como fonte fertilizante.

As propriedades do solo influenciam a absorção do Se pelas plantas, que geralmente diminui com o aumento das quantidades de argila, óxido de ferro e matéria orgânica no solo. Para evitar os fatores do solo que reduzem a disponibilidade de Se, aplicações suplementares nas folhas e nas sementes são usadas com sucesso para aumentar sua concentração nas plantas.

Mesmo que uma área de produção tenha concentrações baixas ou adequadas de Se, podem existir bolsões com alta concentração deste elemento nos solos (NRC, 1983; OLDFIELD, 1990). Na **Tabela 1**, são mostradas algumas concentrações de Se em solos brasileiros.

Tabela 1. Concentração de selênio em alguns solos brasileiros.

Região	Se (µg/kg)
São Paulo ¹	38–212
Goias ²	1–8
Cerrados ³	10–80

Fonte: 1. Moraes (2008); 2. Fichtner e outros (1990); 3. Carvalho (2011).

Referências

CARVALHO, G. S. *Selênio e mercúrio em solos sob Cerrado nativo*. 2011. 93 f. Tese [Doutorado em Ciência do Solo]–Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

FARIA, L. A. *Aplicação de fontes de enxofre para correção de solos com excesso de selênio*. Relatório de Bolsa de Auxílio à Pesquisa MAPFRE-USP, 2009.

FICHTNER, S. S.; PAULA, A. N.; JARDIM, E. C.; SILVA, E. C.; LOPES, H. O. S. Estudo da composição mineral de solos, forragens e tecido animal de bovinos do município de Rio Verde, Goiás. IV – cobre, molibdênio, selênio. *Anais das Escolas de Agronomia e Veterinária*, Goiânia, v. 20, n. 1, p. 1–6, 1990. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/2582/2555>>. Acesso em: 30 set. 2016.

LYONS, G.; CAKMAK, I. Agronomic biofortification of food crops with micronutrients. In: BRUULSEMA, T. W.; HEFFER, P.; WELCH, M. R.; CAKMAK, I.; MORAN, K. (ed.). *Fertilizing crops to improve human health: a scientific review*. Norcross; Paris: International Plant Nutrition Institute; International Fertilizer Industry Association, 2012. v. 1. p. 97–122. Disponível em: <https://extension.umd.edu/sites/default/files/_docs/programs/anmp/IPNI_FCHH%20Vol.1%20FNS.pdf>. Acesso em: 30 set. 2016.

MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Editora Agrônoma Ceres, 1980.

MIKKELSEN, R. L. Selenium: essential for animals, not for plants. *Better Crops with Plant Food*, Atlanta, v. 97, no. 3, p. 14, 2013. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/E556A0A37110120A85257BD500557BAC/\\$FILE/BC%202013-3%20p14.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/E556A0A37110120A85257BD500557BAC/$FILE/BC%202013-3%20p14.pdf)>. Acesso em: 30 set. 2016.

MORAES, M. F. Relação entre nutrição de plantas, qualidade de produtos agrícolas e saúde humana. *Informações Agrônomicas*, Piracicaba, n. 123, p. 21–23, set. 2008. Disponível em: <<http://www.nutrientesparaavida.org.br/wp-content/uploads/2016/04/RELA%3%87%3%83O-ENTRE-NUTRI%3%87%3%83O-DE-PLANTAS-QUALIDADE-DE-PRODUTOS-AGR%3%8DCOLAS-E-SA%3%9ADE-HUMANA.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2016.

NRC. National Research Council. *Selenium in nutrition*. Washington, DC: The National Academies Press, 1983.

OLDFIELD, J. E. *Selenium: its uses in agriculture, nutrition and health and the environment*. Grimbergen: Selenium-Tellurium Development Association, 1990.