

OS MICRONUTRIENTES

LOUIS NEPTUNE MENARD e TUFI COURY

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Universidade de S. Paulo — Piracicaba

INTRODUÇÃO

No V Congresso Internacional de Química Aplicada, realizado em Berlim em 1903, GABRIEL BERTRAND apresentou seus primeiros trabalhos sobre micronutrientes na Seção de Química Agrícola e convidou então os seus colegas a estudarem a importância dos "elementos menores" e preconizou o uso nas grandes culturas dos adubos complementares. Depois dessa comunicação, o Presidente da Seção disse textualmente: "Je ne connais pas de règlements qui nous obligent à perdre notre temps avec des propositions faites par des fous". A resposta do tempo, sempre sábia e prudente, não se fez esperar. Cinquenta e três anos mais tarde, o Centro Internacional dos Adubos Químicos, na sua V Assembléia Geral, reunida nos dias 27 e 28 de Abril na capital da Iugoslávia, estudou especialmente a questão dos oligoelementos.

PALLADIN (1911) apresentou uma longa lista de elementos dos quais 12 mostraram ser necessários: S*, P*, Cl*, Br, I, F, B*, Sb, K*, Na, Li, Rb, Cr, Mg*, Ca*, Sr, Ba, Zn*, Hg, Al, Th, Ti, Sn, Pb, As, Au, Se, Mn*, Fe*, Co, Ni, Cu*, Ag, Cs, Ra, Be, Sc, V, Rb, Mo*.

BERTRAND (1938), analisando as cinzas das partes aéreas da alfafa, colhidas no momento da floração, encontrou os seguintes elementos:

Elemento	% do total de matéria sêca
Carbono	45,370
Hidrogênio	5,540
Oxigênio	41,010
Nitrogênio	3,300
Enxôfre	0,435
Fósforo	0,282
Cloro	0,308
Silício	0,037
Cálcio	2,310
Magnésio	0,329
Potássio	0,906
Sódio	0,157
Total	<u>99,984</u>

A êsses elementos, BERTRAND deu o nome de “elementos plásticos”. Nas mesmas condições, êle dosou outros elementos, cujos resultados damos a seguir :

Ferro	0,0036	Bromo	0,00007
Alumínio	0,0033	Níquel	0,00007
Fluor	0,0020	Molibdênio	0,00003
Boro	0,0009	Iodo	0,0000033
Manganês	0,00048	Cobalto	0,0000027
Zinco	0,00047	Vanadio	0,000048
Cobre	0,00033	Rubidio	0,0026
Titânio	0,00012		

A êste segundo grupo de elementos, BERTRAND batizou de elementos “catalíticos”, antes de os chamar “oligoelementos”. Aparecem êles nas plantas em quantidades muito pequenas, daí serem chamados também de “Infiniment petits chimiques”.

À medida que os métodos químicos se aprimorarem, encontraremos outros elementos a acrescentar às listas precedentes. Em definitivo, não existem elementos conhecidos na crosta terrestre que não possam pertencer ao mundo vegetal, o que concorda com a tese da onipresença dos elementos nos sistemas biológicos (NODDAK, 1936 e SCHWEIGART, 1951).

De acôrdo com NÊMEC, cada célula deveria conter, então, contração de 10 a potência — 15 a 10 a potência — 16 para cada elemento na célula.

O fato destes elementos se encontrarem nas plantas, não, nos permite, porém, afirmar que todos eles façam parte integrante da economia vegetal. Não podemos deduzir da composição química da planta as suas necessidades. Este velho conceito do método analítico já está superado e substituído pelo método sintético, do qual falaremos a seguir.

Estes elementos podem encontrar-se de maneira acidental e constituir simplesmente as impurezas dos elementos úteis, e que passaram do solo para as plantas, em virtude dos fenômenos de osmose.

Como exemplo, o silício e o alumínio são dois elementos que existem nos solos e as plantas os absorvem. A presença do silício pode ser observada muito facilmente em algumas plantas, especialmente cereais. Mas quando as plantas são cultivadas em soluções nutritivas livres desses dois elementos, não encontramos nas análises nem silício nem alumínio e a planta continua a desenvolver-se normalmente.

Experiências já antigas mostraram que uma planta normal regada com soluções podia absorver indiferentemente os diversos metais que lhe eram oferecidos, mesmo em doses nocivas. Essa absorção continuará até o momento em que a concentração no meio exterior e a dos pelos absorventes sejam iguais. Este equilíbrio é constantemente deslocado, em primeiro lugar pela absorção e, em segundo lugar, pela "metabolização" do sal. Tão logo absorvidos, os sais são levados pela seiva para as diversas partes da planta, onde são "metabolizados". É a "metabolização" que controla a absorção das substâncias dissolvidas pelas raízes. Assim se explica a escolha aparente dos vegetais na medida de suas necessidades. Não podemos acreditar no conceito filosófico, que atribuía um certo finalismo às plantas.

O método sintético consiste em obrigar a planta a se desenvolver num meio artificial constituído por compostos químicos definidos e perfeitamente puros, a fim de verificar o grau de utilidade destes elementos quando eliminados, um por um, daquele meio. Este método sintético foi usado pelos primeiros pesquisadores que estudaram a nutrição das plantas: J. WOODWARD (1699), H. L. DUHAMEL DE MONCEAU (1765), TH. DE SAUSURRE (1804), LIEBIG (1840), L. WIEGMANN e POLSTORFF (1842), BOUSSINGAULT (1840), SALM-HORTSMAN (1881), G. VILLE (1855), J. SACHS

(1858), W. KNOPP (1860), e continua a sê-lo com técnica experimental mais refinada.

Naquele tempo, não se pensava sèriamente no papel dos "infiniment petits chimiques" até 1914, quando MAZÉ, na França, publicou os resultados de experiências em soluções nutritivas nas quais verificou, confirmando a opinião de BERTRAND (1905), que o manganês era um elemento essencial e que o zinco era necessário para o crescimento do milho. Com êsse feito, MAZÉ criou uma verdadeira "consciência dos micronutrientes".

Como reconhecer se um elemento é essencial? Que critério adotar? Então, ARNON (1950) propôs seus critérios indiretos ou fisiológicos para julgar a essencialidade de um elemento e estabeleceu as condições seguintes: 1) a carência desse elemento deve impedir que a planta complete o seu ciclo de vida; 2) a sua ação deve ser estritamente específica; 3) a influência de um tal elemento deve estar diretamente implicada no metabolismo da planta e não na correção de condições desfavoráveis — físicas, químicas ou biológicas — apresentadas pelo solo.

MALAVOLTA (1954) propôs os critérios diretos ou bioquímicos, que consistem em identificar um constituinte vital da célula, do qual o elemento em estudo faça parte, ou ainda identificar uma reação crucial para o metabolismo da planta, na qual intervenha o elemento de uma forma ou outra. (sic).

Os micronutrientes cuja essencialidade foi comprovada são na ordem cronológica: ferro (1845), manganês (1915), boro (1927), zinco (1928), cobre (1932), molibdênio (1939), cloro (1954) e sódio (1957). Êste último entrou na lista, após o trabalho de BROWNELL & WOOD com a planta *Atriplex vesicaria* H.

De acôrdo com ARNON (1950), empregaremos o termo "micronutriente" para o elemento cuja presença em pequena quantidade tenha uma significação fisiológica e, similarmente, "macronutriente" (N, P, K, S, Ca, Mg). Para os outros elementos que tenham efeitos estimulantes, sugerimos o termo de "microelementos" ou "oligoelementos" e "macroelementos". Numerosos trabalhos foram realizados com vanádio, níquel, cobalto, rubídio, titânio, etc.. Êsses microelementos porém, têm sòmente "efeitos estimulantes".

Como na maioria dos casos, tôdas essas experiências se efetuam em solução nutritiva; por isso, as conclusões obtidas devem ser utilizadas com muita prudência na agricultura. Não devemos esquecer que o solo, suporte natural dos vegetais, é um meio complexo, heterogêneo, com ou sem cálcio, mais ou menos rico em colóides, povoado de micróbios e sede de fenômenos químicos e biológicos importantes. E' a experiência no campo que se precisa recorrer para confirmar a essencialidade de um elemento determinado.

O método sintético, ou seja, de cultura artificial ou de cultivo em solução nutritiva, permite determinar as concentrações, e as relações dos macro e micronutrientes. Fornece também informações preciosas para o estudo de seu mecanismo de absorção ou de seu antagonismo.

Os micronutrientes ocupam atualmente um lugar muito importante na nutrição das plantas e na fertilização. Chegou-se a explicar algumas das suas funções nos processos da vida das plantas e dos animais. O metabolismo das matérias orgânicas fundamentais (glucídios, lipídios, proteínas) é intimamente ligado aos micronutrientes. Estes intervêm nos primeiros processos bioquímicos que se realizam no organismo das plantas e dos animais. Na presença de certos micronutrientes, as plantas assimilam melhor os adubos minerais (nitrogenados, fosfatados, potássicos). Constatou-se que a adição de cada micronutriente ao solo facilitava, de certa maneira, a combustão da matéria orgânica, a nitrificação e a fixação do nitrogênio atmosférico e elevava, na grande maioria dos casos, a porcentagem de nitrogênio nos grãos recolhidos. Isso representa um fato interessante, pois é a semente o órgão da planta de mais difícil modificação em seu equilíbrio químico.

Os micronutrientes de natureza metálica fixam-se nos minerais argilosos iônicos e, igualmente nas matérias orgânicas do solo. Por isso, encontram-se nos solos complexos metálicos com compostos orgânicos.

São quase sempre os solos arenosos os que mostram falta de microelementos, porque os minerais presentes são dificilmente decomponíveis; em seguida vêm os solos turfosos que acumularam êstes elementos por precipitações atmosféricas.

A absorção dos micronutrientes pelas plantas num solo alcalino ou num solo onde se fez a calagem, varia de acôrdo com o micronutriente resultando alguns menos assimiláveis, outros, porém, assimiláveis. Também nos solos ácidos, pode acontecer

que os micronutrientes sejam fornecidos em quantidades insuficientes. Como se vê, a alcalinidade e a acidez exercem alguma influência na assimilação dos micronutrientes.

Os coloides do solo constituem o primeiro itinerário no metabolismo dos micronutrientes. De fato, o sistema radicular está rodeado de um conglomerado de coloides do solo em que se encontram em contato. Esses coloides podem trocar entre si cátions e ânions. Sob a influência de certos fatores exteriores, o coloide cede e torna a tomar íons, por troca com a célula ou com a solução do solo. Rompe-se o estado de equilíbrio em que se podiam encontrar os coloides, quando em presença de sais minerais (de micronutrientes) e, conseqüentemente, há uma reação entre os coloides de contato do solo e o sistema celular das raízes.

A microflora do solo exerce também uma função importante. Os microrganismos multiplicam-se e podem fixar ou substituir os diversos micronutrientes, extraíndo-os do fluxo dos íons em circulação; por outra parte, os microrganismos morrem e mineralizam rapidamente a maior parte dos micronutrientes, enquanto que a fração restante vai se armazenar junto dos coloides orgânicos do solo. Por isso, quando se acrescenta uma substância fertilizante ao solo, não se atua somente sobre a planta, pois modifica-se ainda, num e noutro sentido, a nutrição das bactérias e de todos os seres microscópicos que nêles vivem.

Sabe-se, hoje, que os micronutrientes são considerados integrantes de enzimas e que processos enzimáticos se verificam no solo. Para tratar êsse novo campo, surgiu um novo ramo da química agrícola: a enzimologia agrícola.

Os micronutrientes fazem também parte de vitaminas.

A couve, a alface, o espinafre e o tomate são ricos em vitaminas A, B, C, E e G; os tres primeiros são-no em ferro manganês e cobre. O tomate representa uma boa fonte de cobre. Na laranja, no limão e no tomate, encontramos o manganês. Muitos pesquisadores estão estudando a relação entre os fertilizantes e a formação de vitaminas nas plantas. E parece que a presença ou ausência de certos elementos influencia na formação de vitaminas nas plantas.

Consideramos, até hoje, como adubação completa, a aplicação nos solos dos macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), enxôfre (S) e magnésio (Mg).

Esse conceito clássico de adubação não é suficiente ante a evidência de centenas de experiências rigorosamente controladas, em que os micronutrientes desempenham uma função de destaque na química agrícola. Considerando o que foi realizado nestes últimos anos, no campo da fisiologia dos micronutrientes, verifica-se que o problema da fertilização da terra é muito mais complexo do que se acreditava.

Ninguém espera os sinais de carência de nitrogênio, fósforo ou potássio para aplicar esses elementos. Pois bem, este princípio é válido também para os micronutrientes.

Mas, porque motivo os agricultores não dão a devida importância aos micronutrientes? Em primeiro lugar, porque a maioria dos solos os possuem em quantidades suficientes para atender anos e anos às necessidades das plantas e as porções retiradas pelas colheitas são quase sempre tão ínfimas que não chegam a esgotar em breve prazo a reserva natural dos solos. Em segundo lugar, porque muitos adubos (estêrco, salitre do Chile, escória de Thomas) contêm micronutrientes como impurezas das mais benéficas e assim, o lavrador, ao adubar, adiciona sem saber, tais elementos. O teor dos micronutrientes nos adubos químicos só foi determinado em alguns deles. Assim:

O Boro existe no salitre do Chile, 0,2%; nos fosfatos naturais, 10-144 mg/kg; nos superfosfatos, 10-158 mg/kg; nas amostras de fosfato de amônio, 10-160 mg/kg; e na silvinita da Alásia, 1-6 mg/kg.

O manganês encontra-se nas escórias de Thomas, em um teor de 1,50 a 6,16% e no fosfato de Tennessee, de 0,147 a 0,162%.

O cobre tem sido encontrado num certo número de fosfatos naturais na proporção de 0,29 até 1,8%; no salitre do Chile, 0,00001%; na cianamida, 0,001%; no guano, 0,007%; no fosfato de Tennessee, 0,003%; no fosfato de amônio, 0,006%; no nitrato de potássio, 0,001% e no sulfato de potássio, 0,001%. Este micronutriente encontra-se no solo devido à pulverização com calda bordalesa.

O zinco é encontrado nos fosfatos naturais, 5 mg - 27 mg/100 g, e na cal fosfatada, 15 mg/100 mg.

Além disso, os adubos orgânicos, como o estêrco de curral, o "composto" e as tortas oleaginosas contêm também os micronutrientes citados. A seguir, reproduzimos um quadro sobre

os teores de micronutrientes no estêrco realizado por ATKINSON e colaboradores (1954).

Elementos	Composto químico	Quantidades trazidas pelo estêrco (kg/ha)		Quantidades trazidas pelos compostos químicos (kg/ha)	
		máxima	média		
Boro	Na 2B4O7.10 H2O	4.114	1.570	5,6	— 44,8
Manganês	Mn SO4.4 H2O	19.965	7.266	28	— 56
Cobre	Cu SO4.5 H2O	1.436	0.559	5,6	— 56
Zinco	Zn SO4.7 H2O	9.743	3.800	5,6	— 33,61
Molibdênio	Na 2MoO4.2 H2O	0.099	0,044	0.28	— 2.24

Este quadro é feito sôbre a base de uma quantidade de 50 toneladas de estêrco com 80% de umidade.

Nos últimos anos, tem sido verificado com alguma frequência o aparecimento de várias deficiências de micronutrientes nas mais diversas culturas de São Paulo, desde as plantas de ciclo curto, como tomateiro, couve-flor, até as culturas perenes como o cafeeiro e as laranjeiras. Em certos casos, trata-se não de uma falta de micronutriente no solo, mas de uma impossibilidade temporária no seu aproveitamento por determinada cultura. É o que aparentemente acontece com os cafezais cultivados no arenito de Baurú. Aquele elemento pode representar-se sob uma forma dificilmente solúvel e, conseqüentemente, pouco assimilável pela planta.

Tudo leva a crer, porém, que, na maioria dos solos paulistas, onde houve o aparecimento de doenças de carência nas culturas (doenças fisiológicas), o que, de fato, existe é uma falta de micronutrientes. Exemplo elucidativo é a falta quase generalizada de zinco em terras roxas misturadas e em terras arenosas (na região de Araras), a qual provoca uma clorose muito típica, entre as nervuras das fôlhas de laranjeira e fôlhas pequenas, retorcidas e amarelas dos pés-de-café (MALAVOLTA, 1957).

Observamos, dia a dia, que essas carências ou deficiências de micronutrientes vêm se manifestando em tôdas as partes do mundo. Acontece que, depois de safras sucessivas, os micronutrientes começam a faltar. Consideram-se como outras causas dessas carências: o uso intensivo de máquinas agrícolas aper-

feixoadas, os tratos culturais e o emprêgo de adubos minerais de grande pureza química.

Como corrigir as deficiências dos micronutrientes ?

No estado atual de nossos conhecimentos, torna-se prejudicial o uso inconsiderado de adubos à base de micronutrientes. Quando, durante o cultivo, temos de aplicar um micronutriente em determinado solo, isso não significa que tal aplicação deva repetir-se cada ano para cada rotação ou para cada tipo de cultura. O agricultor, quando considera necessária a aplicação de um micronutriente, deve examinar o solo. Em todo caso, não se pode dar uma diretiva geral para o emprêgo dos micronutrientes, pois sua aplicação deve ser realizada somente para certas culturas e em certos solos. Assim, o emprêgo dos micronutrientes depende dos tipos de solo, das condições pedológicas, agroquímicas, climáticas, das medidas agrotécnicas, das transformações biológicas no solo, da espécie de plantas.

Do ponto de vista da prática agrícola, parece lógico considerar o uso dos "adubos complementares" que, em caso de necessidade, sejam suscetíveis de completar os adubos nitrogenados, fosfatados, potássicos, habitualmente incorporados ao solo pela adição do ou dos micronutrientes. Também pode ser usado o que chamaremos de "*microadubos*", ou seja a aplicação direta dos micronutrientes sob a forma de *quelatos*. Recomenda-se, também, a aplicação dos micronutrientes por pulverização. Dêsse modo, fica assegurada uma pronta utilização dos micronutrientes pelas plantas deficientes. Com exceção do boro, não recomendamos aplicações no solo. Isto porque os nossos solos possuem um poder muito alto de fixação do ferro, do molibdênio e do zinco em formas tais que as plantas não os podem absorver em quantidade suficiente; a menos que se use o quelato correspondente.

De acôrdo com um método de longa data, praticado na Bulgária, na Rússia e, recentemente, na Hungria, usa-se a operação chamada de "*estímulo*", que consiste em mergulhar as sementes em soluções que contêm micronutrientes na forma de sais. Desta maneira, chegou-se a aumentar o rendimento em certas espécies de plantas, posto que em outras os resultados obtidos tenham sido quase negativos. Além disso, essa prática acelera geralmente a germinação e, conseqüentemente, o desenvolvimento mais rápido da planta e, enfim, assegura melhores colheitas, sobretudo nas regiões onde não chove suficien-

temente. E' de se notar que em certos casos esta prática facilita a formação de substâncias fundamentais, como, por exemplo, as proteínas (materiais albuminoides).

Para corrigir as deficiências, a Estação Central de Agronomia de Versailles, faz as recomendações resumidas na seguintes tabela :

Elementos	kg/ha no solo	Pulverizações
Burax	10 - 20	0,25%
Sulfato de zinco	8 - 80	0,5-0,1 % + cal
Sulfato de cobre	4 - 60	0,1 %
Sulfato de manganês	60 - 800	3% + cal
Molibdato de amônio	4	0,1-0,2 %

Durante os últimos anos, realizaram-se inúmeros progressos no estudo dos micronutrientes; é preciso, continuar as pesquisas sistemáticas neste campo, não somente nas plantas, como também nos nossos solos e estabelecer quanto antes um mapa geoquímico dos micronutrientes e seus teores nestes solos.