

EQUILÍBRIO ENTRE BASES DO SOLO E PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

Volnei Pauletti¹

Quem já não ouviu falar que a produtividade das culturas depende do equilíbrio entre as bases do solo e da participação destas na CTC? Este é um assunto recorrente, e muitos o consideram de suma importância para a obtenção de altas produtividades das culturas.

Este artigo tem por objetivo trazer informações para auxiliar no entendimento do tema, abordando como ocorre a competição entre os nutrientes pelas cargas do solo, como isso afeta a relação entre as bases e de que forma os nutrientes competem entre si pela entrada na planta. Além disso, traz uma análise de casos, considerando resultados experimentais disponíveis na literatura, para verificar se essas relações interferem na produtividade.

A SÉRIE LIOTRÓPICA E OS NUTRIENTES NO SOLO

Praticamente todas as publicações que abordam a relação entre os nutrientes no solo remetem ao artigo de Bear e Toth (1948). A partir dos dados desse trabalho, no

qual se utilizou a alfafa como planta teste, surgiu o conceito de “solo ideal de Bear”. Neste conceito, um solo ideal para o crescimento das plantas deve ter a CTC ocupada por 65% de Ca, 10% de Mg, 5% de K e 20% de H. Nestas proporções ocorrem relações Ca/Mg de 6,5:1, Ca/K de 13:1 e Mg/K de 2:1.

A partir do conceito de “solo ideal de Bear”, além da interpretação dos teores dos nutrientes no solo, passaram a ser divulgadas tabelas com valores adequados também para as relações entre as bases do solo (Tabela 1).

Em todos os países, a forma mais utilizada e consagrada de recomendar adubos e corretivos leva em conta a quantidade de nutrientes que estão disponíveis para a planta no solo. Esta quantidade é determinada por análises que utilizam extratores químicos, cujos resultados têm relação com a quantidade de nutrientes absorvida pela planta ou com a produtividade. A partir deste conhecimento, são elaboradas as tabelas, com as doses que devem ser aplicadas. Ou seja, a quantidade de nutrientes existentes no solo acrescida da quantidade aplicada

Abreviações: Al = alumínio, B = boro, C = carbono, Ca = cálcio, Cl = cloro, CTA = capacidade de troca de ânions, CTC = capacidade de troca de cátions, Cu = cobre, Fe = ferro, H = hidrogênio, K = potássio, Mg = magnésio, Mn = manganês, Mo = molibdênio, N = nitrogênio, Ni = níquel, O = oxigênio, P = fósforo, S = enxofre, Zn = zinco.

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Professor na Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR; email: vpauletti@ufpr.br

INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS

ISSN 2311-5904

Publicação trimestral da
NPCT – Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia

O jornal publica artigos técnico-científicos elaborados pela comunidade científica nacional e internacional visando o manejo responsável dos nutrientes das plantas.

COMISSÃO EDITORIAL

Editor

Lúis Ignácio Prochnow

Editora Assistente

Silvia Regina Stipp

Gerente de Distribuição

Evandro Luis Lavorenti

ASSINATURAS

As assinaturas podem ser realizadas no site da NPCT: <http://www.npct.com.br>

PATROCÍNIO

Os interessados em patrocinar o Jornal Informações Agronômicas podem entrar em contato com: ELavorenti@npct.com.br ou LProchnow@npct.com.br

Nº 7 SETEMBRO/2020

CONTEÚDO

Equilíbrio entre bases do solo e produtividade das culturas <i>Volnei Pauletti</i>	1
Fertilizantes organominerais fosfatados – alternativa para aumento da eficiência da adubação fosfatada no Brasil <i>Joaquim José Frazão, José Lavres Junior</i>	13
Relação solo-planta: bases para a nutrição e produção vegetal <i>Adriano Nunes-Nesi e outros</i>	19
Divulgando a Pesquisa	31
Painel Agronômico	32
Cursos, Simpósios e outros Eventos	33
Publicações Recentes	34
Publicação do IPNI/NPCT	35
Ponto de Vista	36

NOTA DOS EDITORES

As opiniões e as conclusões expressas pelos autores nos artigos não refletem necessariamente as mesmas dos editores deste jornal.

PATROCINADORES



Knowledge grows

Tabela 1. Teores adequados e sugeridos de bases trocáveis do solo, relações e participação na CTC, de acordo com vários autores/publicações do Brasil.

Autor ⁽¹⁾	Teor			Relação				% na CTC		
	Ca	Mg	K	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca + Mg)/K	Ca	Mg	K
1				6,5/1	13/1	2/1	15/1	65	10	5,0
2	2,1-6,0	1,1-2,0	0,22-0,45							2,1-3,0
3	1,5-7,0	0,5-2,0	0,13-0,21 ⁽²⁾	1-10/1	15-25/1	5-15/1	20-30/1			
4	> 2,0	> 0,8		1-2/1	10-20/1	5-10/1		26-34	13-18	3,0-5,0
5	> 4,0	> 0,8		1,5-3,5/1	8-16/1	3-6/1		35-50	13-20	3,0-5,0
6	> 0,7	> 0,8	0,31-6,0							
7	> 4,0	> 1,0	> 0,38							
8	2,41-4,0	0,91-1,5	0,18-0,31	3-4/1						
9		> 0,5	0,23-0,35							

⁽¹⁾ 1: Bear e Toth (1948); 2: NEPAR (2019); 3: Souza e Lobato (2004); 4: Embrapa (2013), para CTC < 8 cmol_c dm⁻³; 5: Embrapa (2013), para CTC > 8 cmol_c dm⁻³; 6: Raij et al. (1996); 7: Prezotti e Guarçoni (2013); 8: Ribeiro et al. (1999); 9: Campos et al. (2013).

⁽²⁾ Para CTC > 4 cmol_c dm⁻³ os níveis são 0,08-0,10 cmol_c dm⁻³.

como adubo ou corretivo deve suprir a necessidade da planta para atingir a máxima produção. Valores considerados altos ou adequados (Tabela 1) indicam que a quantidade do nutriente disponível no solo já é suficiente para atender à demanda da planta, que, sem adubação, irá produzir, no mínimo, 90% do rendimento máximo possível na safra. Nesta condição, as adubações são realizadas para manutenção do teor existente no solo, ao repor o que está sendo exportado com a colheita.

Entre os manuais, ocorre grande variação quanto aos níveis considerados adequados de Ca e Mg no Brasil (Tabela 1). A amplitude varia de 0,7 a 7,0 cmol_c dm⁻³ para Ca e de 0,5 a 2,0 cmol_c dm⁻³ para Mg. Essa variação é devida às diferentes condições regionais e, principalmente, à origem dos dados que levaram à definição dos índices. Os menores valores para Ca (RAIJ et al., 1996) e Mg (SOUZA; LOBATO, 2004) descritos na Tabela 1 se referem aos teores abaixo dos quais há grande probabilidade de ocorrência de deficiência do nutriente, considerando as demais condições químicas do solo adequadas para a planta. Os maiores valores, por sua vez, foram obtidos em ensaios de calagem, nos quais, ao se aplicar calcário para correção da acidez do solo, também se promove a elevação dos teores de Ca e Mg. Os valores de Ca e Mg obtidos nas melhores doses de calcário são, indiretamente, considerados adequados para as plantas. Isso não deixa de estar certo, objetivando a máxima produtividade das lavouras em uma condição química adequada, porém, para que ocorra deficiência de Ca ou Mg, os teores são bem menores.

A relação entre os nutrientes é obtida a partir dos resultados da análise de solo. Por exemplo, um solo com teor de 3 cmol_c dm⁻³ de Ca e 1 cmol_c dm⁻³ de Mg tem relação Ca/Mg de 3:1. Essa relação é exatamente igual à obtida em um solo com 0,9 cmol_c dm⁻³ de Ca e 0,3 cmol_c dm⁻³ de Mg. A diferença entre eles está no fato de que no primeiro caso os teores estão adequados (Tabela 1), e no segundo caso, deficientes

para as plantas. Portanto, já se percebe uma limitação do uso isolado da relação entre os nutrientes, pois pode induzir ao erro de interpretação da fertilidade e de recomendação de adubo ou calcário.

Atualmente, são 17 os elementos considerados essenciais às plantas, divididos em macronutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo, Cl e Ni). A diferença entre os macro e os micronutrientes é apenas a quantidade absorvida, uma vez que todos desempenham funções vitais nas plantas. A deficiência de qualquer um dos 17 elementos resulta em menor produção da planta e da lavoura. Considerando os dados quantitativos obtidos pelas análises de solo, não é por ser essencial que sempre será necessário aplicar o nutriente. Se o teor for alto ou suficiente, não há necessidade de adubação, porém, se não for suficiente, deve-se complementar com adubos ou corretivos. Como já foi visto, a adubação em solos com teor alto do nutriente é feita para repor a exportação pela colheita e manter o seu teor elevado no solo.

A quantidade de nutrientes no solo disponível para as plantas depende do material de origem do solo, da aplicação de adubos e corretivos e da capacidade do solo em reter os nutrientes. Esta capacidade é dada pela presença de cargas negativas no solo, expressas pela capacidade de troca de cátions (CTC) ou de cargas positivas, que é a capacidade de troca de ânions (CTA). Em geral, os solos brasileiros têm maior quantidade de cargas negativas do que de positivas, por isso, as perdas de ânions por lixiviação (deslocamento no perfil do solo para fora do alcance das raízes), como de NO₃⁻, SO₄⁻ e Cl⁻, tendem a ser maiores que as de cátions. Como regra, solos argilosos têm mais cargas que solos arenosos, enquanto solos com maior quantidade de matéria orgânica têm mais cargas que um mesmo solo com menor quantidade de matéria orgânica (Tabela 2).

Tabela 2. Teor de argila e variáveis químicas de solos coletados em florestas no estado de Rondônia, Paraná e Minas Gerais, na profundidade de 0-20 cm.

Local	Argila (g kg ⁻¹)	MO (%)	CTC pH 7 -----	CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	Ca	Mg	K	Relação Ca/Mg	Ca	Mg	K
----- (% na CTC) -----											
Rondônia⁽¹⁾											
A	229	2,06	6,87	2,04	0,50	0,30	0,11	1,7	7,3	4,4	1,6
B	353	1,72	5,76	1,69	0,10	0,10	0,09	1,0	1,7	1,7	1,6
C	59	1,91	7,80	5,30	4,00	1,10	0,20	3,6	51,3	14,1	2,6
Paraná⁽²⁾											
A	692	2,89	10,50	2,50	0,50	0,25	0,01	2,0	4,8	2,4	0,1
B	152	4,28	13,00	3,30	0,10	0,25	0,01	0,4	0,8	1,9	0,1
C	719	1,91	9,20	3,10	0,05	0,10	0,01	0,5	0,5	1,1	0,1
Minas Gerais⁽³⁾											
A	500	3,30	10,20	1,30	0,20	0,10	0,06	2,0	2,0	1,0	0,6
Média		2,58	9,05	2,75	0,78	0,31	0,07	1,6	9,8	3,8	0,9

Fonte: Adaptada de ⁽¹⁾Numata et al. (2002), ⁽²⁾Tsujigushi (2019) e ⁽³⁾Alcântara et al. (2000).

O que governa a mobilidade (lixiviação) dos elementos químicos presentes na solução do solo é a sua preferência pela adsorção (ligação) às cargas do solo. Esta preferência é dada pela carga e pelo raio iônico hidratado do íon. Quanto maior carga tiver o íon e quanto menor seu raio iônico hidratado, maior sua atração pelas cargas. Esta preferência de ligação é chamada de série liotrópica, que para os cátions obedece a seguinte ordem: H⁺ >>> Al³⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > NH₄⁺ > K⁺ > Na⁺, e para os ânions: H₂PO₄⁻ > MoOH₄²⁻ >>> SO₄⁻ > NO₃²⁻ > Cl⁻. Tanto o H⁺ quanto o H₂PO₄⁻ e o MoOH₄⁻ se ligam ao solo mais fortemente por ligações covalentes, por isso, são fortemente atraídos e presos às cargas, enquanto os demais por ligações eletrostáticas, que são mais fracas. O Ca²⁺, apesar

de ter a mesma carga que o Mg²⁺, se liga mais fortemente que este às cargas negativas do solo pois seu raio iônico hidratado é menor (Ca²⁺ = 0,96 nm e Mg²⁺ = 1,08 nm).

Em áreas sem cultivo, onde a presença dos elementos químicos depende da riqueza da rocha que originou o solo, os teores trocáveis ou disponíveis destes nutrientes segue a sequência da série liotrópica. Considerando os dados apresentados na Tabela 2, parece haver uma contradição nesta afirmação, pois os teores de Ca são próximos ou inferiores aos de Mg. Isso ocorre porque os teores são muito baixos e há um efeito direto do material (rocha) que deu origem ao solo, que pode conter teores de Mg similares ou superiores aos de Ca. Em áreas cultivadas (Tabela 3), quando os teores

Tabela 3. Teor de argila e variáveis químicas de solos cultivados, coletados na profundidade de 0-20 cm, em diferentes regiões.

Local	Argila (g kg ⁻¹)	CTC _{pH7} -----	Ca	Mg	K	Ca/Mg	Ca	Mg	K	Referência
----- (% na CTC) -----										
Guarapuava, PR	340	13,0	7,3	2,8	0,50	2,6	56,2	21,5	3,8	Ambrosini et al. (2019)
Rio Verde, GO	531	6,7	3,7	1,3	0,15	3,0	55,2	18,7	2,2	Braz et al. (2019)
São Desidério, BA	175	3,4	1,8	0,6	0,20	3,0	52,9	17,6	5,9	Almeida et al. (2018)
Itaberá, SP	417	10,9	3,8	0,9	0,24	4,2	34,9	8,3	2,2	Ambrosio et al. (2017)
Castro, PR	572	11,2	4,7	2,0	0,70	2,4	42,0	17,9	6,3	Teixeira (2017)
Mamborê, PR	760	10,5	4,6	1,2	0,20	3,8	43,8	11,4	1,9	Teixeira (2017)
Montividiu, GO	567	7,7	3,8	1,1	0,30	3,5	49,4	14,3	3,9	Teixeira (2017)
Primavera do Leste, MT	446	6,3	2,9	1,1	0,30	2,6	46,0	17,5	4,8	Teixeira (2017)
Jaguariaíva, PR	145	7,3	1,4	0,6	0,21	2,5	19,3	7,6	2,9	Pauletti et al. (2014)
Média, Brasil		9,3	4,7	1,4	0,33	3,2	47,9	15,2	3,7	
Ferrara, Itália ⁽¹⁾	280	16,3	13,0	2,8	0,50	4,6	79,8	17,2	3,1	Perazzoli et al. (2020)

⁽¹⁾ Ferrara, 0-40 cm.

dos nutrientes são maiores, em função da aplicação de corretivos e fertilizantes, a série liotrópica fica mais evidente. Na Tabela 3 também consta a análise da camada de 0-40 cm de um solo da Itália, onde se verifica a mesma sequência de teores de bases que nos solos brasileiros. Portanto, com raras exceções, sempre se espera mais Ca^{2+} que Mg^{2+} e mais Mg^{2+} que K^+ no solo, como um processo natural.

Outra forma de verificar o efeito da série liotrópica no solo é observar os teores dos nutrientes ao longo do tempo. Na Figura 1 são apresentados os teores de Ca e Mg e a relação Ca/Mg de um Latossolo Bruno cultivado em plantio direto, sem aplicação de calcário durante o período de 10 anos. Apesar de a calagem ter sido feita em superfície, os valores correspondem à camada de 0-20 cm. Percebe-se que os teores de Ca e Mg aumentaram até 2011 (oito anos após o início da amostragem) e a partir deste ano começaram a diminuir lentamente. Este aumento dos teores de Ca e Mg por longo tempo após a aplicação do calcário na camada de 0-20 cm é esperado em plantio direto, uma vez que ocorre a frente de alcalinização, que desloca lentamente o efeito do calcário aplicado em superfície para as camadas mais profundas (KAMINSKI et al., 2005). Percebe-se, também, que a relação Ca/Mg aumentou gradativamente durante o período, de aproximadamente 2:1 para 3:1. Para isso ocorrer, significa que o numerador (teor de Ca) aumentou mais que o denominador (teor de Mg) ou que o numerador (teor de Ca) diminuiu menos que o denominador (teor de Mg). O teor de Mg, proporcionalmente ao maior teor observado do período, aumentou menos no período inicial e diminuiu mais a partir de 2011 que o Ca, o que justifica o aumento da relação Ca:Mg. Este comportamento do Mg é devido à sua maior mobilidade (obedecendo a série liotrópica) e deslocamento para camadas mais profundas do solo.

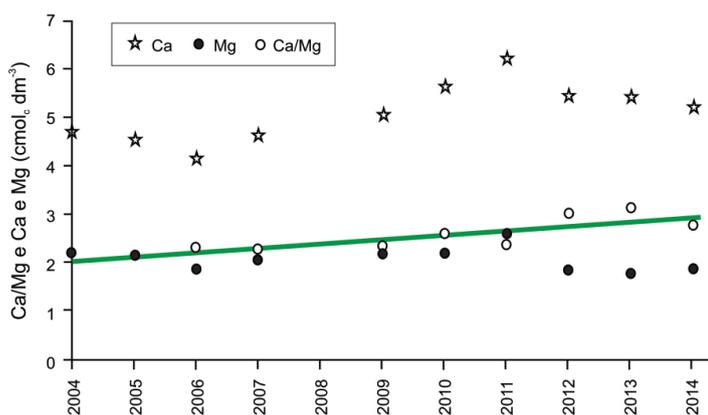


Figura 1. Teor de cálcio e de magnésio e relação Ca/Mg na camada de 0-20 cm de um Latossolo Bruno cultivado em plantio direto, sem aplicação de calcário durante o período de avaliação.

Fonte: Adaptada de Melinski (2020).

Pode-se observar também na Tabela 3 que, em média, a porcentagem de Ca, Mg e K na CTC é de 47,9%, 15,2% e 3,7%, respectivamente. Portanto, a saturação por Ca e K

menor e de Mg maior que as indicadas para o solo ideal de Bear (BEAR; TOTH, 1948) e mais próxima ao indicado pela maior parte dos manuais publicados no Brasil, assim como a relação Ca/Mg (Tabela 1). Essa informação é importante, pois os teores de Ca, Mg e K estão em níveis altos em todas as amostras, o que indica que se os adubos e corretivos forem aplicados visando elevar os teores do solo para níveis altos, automaticamente as relações estarão dentro do que é considerado ideal.

Por meio da série liotrópica também podemos entender porque os solos tropicais e sub-tropicais, por regra, são muito pobres em bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) e são ácidos (ricos em H^+ e Al^{3+}). À medida que as bases são perdidas por lixiviação, que é o carregamento pela água para as camadas mais profundas do solo, ou por erosão, o H^+ e o Al^{3+} permanecem. Isto também ajuda a explicar a necessidade de calagem e adubação periodicamente em solos cultivados, uma vez que, além dos processos naturais de perda, ocorre a retirada e a exportação dos nutrientes com as colheitas.

COMPETIÇÃO ENTRE OS NUTRIENTES PELA ABSORÇÃO PELA PLANTA

Como visto, os cátions e os ânions “disputam” as cargas do solo, de acordo com a série liotrópica. Por isso, a quantidade desses elementos presentes no solo ao longo do tempo depende da quantidade de cargas disponíveis para retê-los. O que fica na solução do solo é uma quantidade muito pequena (K, por exemplo, menos que 0,1% do total) e está sujeita à perda por lixiviação. Considerando esta lógica, teores superiores à quantidade de cargas podem ser obtidos apenas em curto prazo, com a aplicação de adubos e corretivos.

Mas como um nutriente pode prejudicar a absorção de outro? Para entendermos isso é preciso revisar como ocorre o processo de absorção pela planta. Com exceção de C, H e O, que provêm da água ou do ar, os demais nutrientes essenciais são absorvidos principalmente da solução do solo pelas raízes. Então, antes de serem absorvidos, os nutrientes precisam sair da fase sólida (adsorvidos na CTC ou na CTA, adubo, matéria orgânica, esterco, etc.) e estarem diluídos na solução do solo.

Após estar em solução e entrar em contato com a raiz é que vai ocorrer a absorção, que é a entrada do nutriente na célula viva da planta. Isso ocorre quando o nutriente passa pela membrana plasmática. Neste momento, ou seja, na passagem de fora para dentro de uma célula viva, é que pode ocorrer a competição entre os nutrientes.

Portanto, a competição pelas cargas do solo e as relações entre os nutrientes no solo, explicadas anteriormente, são processos bem distintos aos da absorção destes mesmos nutrientes pelas células da planta. A competição pelas cargas do solo interfere no quanto do nutriente estará disponível para absorção, enquanto a absorção propriamente dita, determina quanto deste nutriente disponível entra na planta.

A absorção de um nutriente, ou seja, a passagem pela membrana plasmática da célula, ocorre principalmente

através de proteínas que estão inseridas nesta membrana (Figura 2). Essas proteínas são chamadas de bombas, canais ou carreadores.

É importante destacar que as proteínas são específicas para um determinado nutriente. Ou seja, cada nutriente tem proteínas para fazer o seu transporte de fora para dentro da célula. Algumas destas proteínas são muito específicas e transportam somente um nutriente, enquanto outras são menos específicas e transportam principalmente um determinado nutriente mas podem transportar outro. Por exemplo, existem proteínas que só transportam Mg, enquanto outras que transportam o Mg podem, por exemplo, transportar K.

A competição pela absorção torna-se mais importante quando a concentração de um determinado elemento está muito alta no solo. Nesta condição, o nutriente em excesso passa a utilizar as proteínas menos específicas de outro nutriente, diminuindo sua absorção. Esse mecanismo é conhecido como mecanismo duplo de absorção (EPSTEIN; BLOOM, 2006), representado na Figura 3. Na primeira curva, ao se ter zero nutriente fora da célula ou no solo, a absorção também é zero. À medida que a concentração fora da célula (ou no solo) aumenta, a velocidade de absorção vai aumentando até se estabilizar. Essa estabilização ocorre quando todos os carreadores específicos daquele nutriente estão ocupados, e a velocidade de entrada depende do tempo que as proteínas demoram para levar o nutriente da parte externa para a interna da célula. É como se as proteínas fossem roletas de metrô ou de um estádio de futebol. Se todas estiverem ocupadas, para que a próxima pessoa passe é necessário esperar o tempo de giro da roleta e assim liberar a “vaga”.

Na segunda curva (Figura 3), a velocidade de entrada do nutriente vai aumentando novamente até se estabilizar. Note que o teor representado no eixo “x” para início da

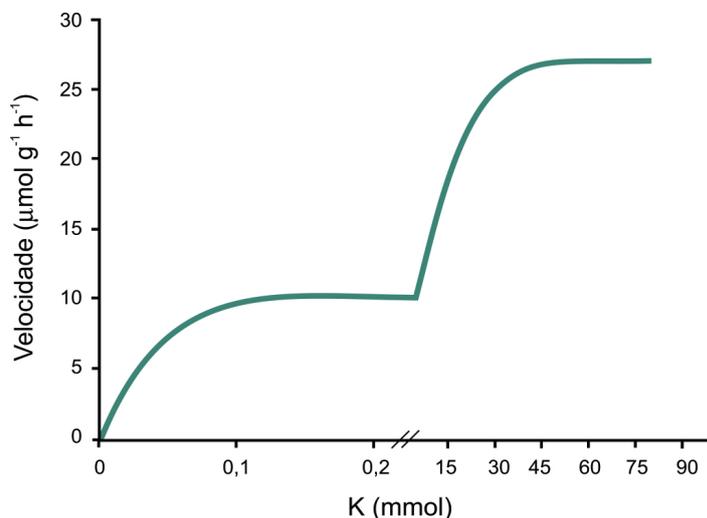


Figura 3. Representação do mecanismo duplo de absorção de nutrientes pela planta.

Fonte: Epstein e Bloom (2006).

segunda curva é pelo menos 50 vezes maior que o anterior, ou seja, uma concentração exagerada fora da célula. Mas, por que aumenta a absorção do nutriente se todas as suas proteínas transportadoras já estão ocupadas (primeira curva)? Porque o nutriente, devido ao excesso de concentração, vai ocupando os carreadores menos específicos dos outros nutrientes. A velocidade novamente se estabiliza quando todos os carreadores possíveis (tanto os específicos quanto os menos específicos de outros nutrientes) forem ocupados pelo nutriente.

Com isso, a presença de altas concentrações de um nutriente no solo pode diminuir a absorção de outro. Esta competição ocorre entre os cátions – Ca^{2+} com Mg^{2+} ou K^+ com Mg^{2+} , por exemplo – e entre os ânions – NO_3^- com Cl^- , por exemplo.

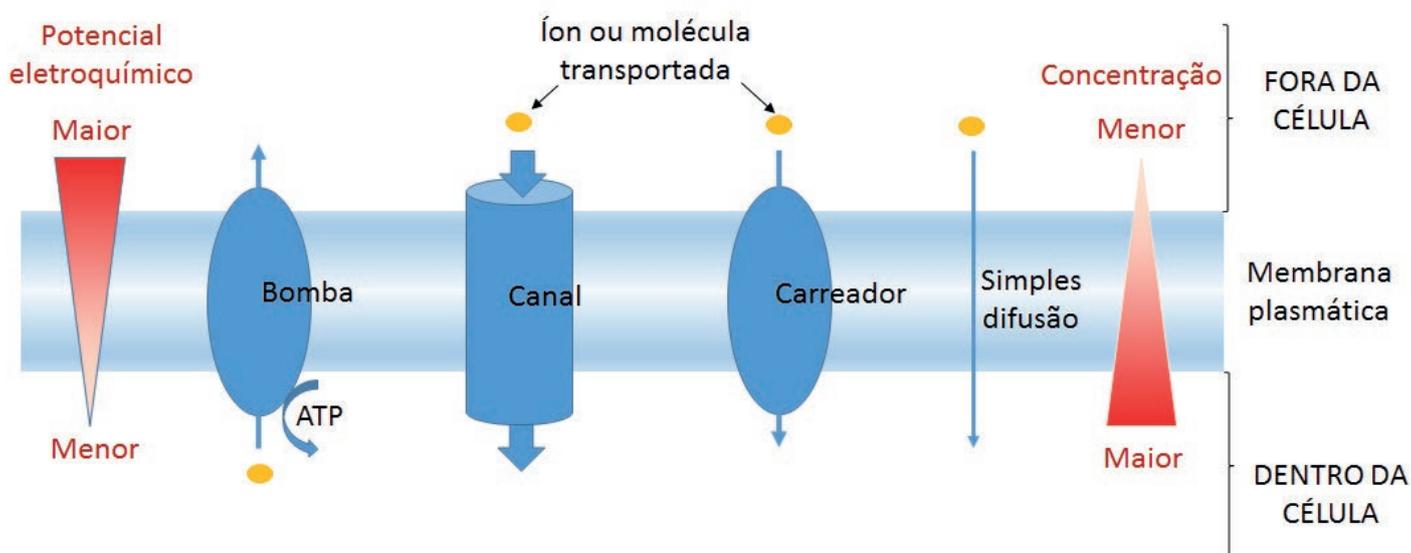


Figura 2. Esquema ilustrando a presença de proteínas na membrana plasmática de uma célula vegetal viva, responsáveis pela passagem de nutrientes.

Fonte: Adaptada de Taiz e Zieger (1998).

A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS É ALTERADA PELA RELAÇÃO ENTRE AS BASES DO SOLO OU PELA PARTICIPAÇÃO DESTAS NA CTC?

Como vimos, sempre se espera maior teor trocável de Ca no solo que de Mg, e deste maior que o de K (Tabela 2 e Tabela 3). Da mesma forma, a participação destes na CTC segue a mesma ordem, principalmente devido à série liotrópica apresentada anteriormente. Também vimos como o excesso de um nutriente pode prejudicar a absorção de outro ao competir pelas proteínas que fazem o transporte através da membrana da célula.

Ainda resta uma dúvida: estas relações dos nutrientes no solo e a competição pela absorção pela planta podem prejudicar a produtividade das lavouras?

O caso mais comum de deficiência induzida por competição é o de excesso de K causando deficiência de Mg em café e banana. Matiello (2015) relata que a deficiência de Mg ocorre em cafezais devido ao desequilíbrio com Ca e K provocado pela aplicação de altas doses de K e muitas fontes de Ca (calcário calcítico, gesso e fosfatos que contêm Ca, como o superfosfato simples). Em banana, Mendonça (2006) descreve o sintoma de deficiência de Mg (azul da bananeira) causada pelo excesso de K no solo. O que essas espécies têm em comum é que ambas são exigentes em K e, portanto, recebem altas doses anuais deste nutriente, mais de 250 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O (NEPAR, 2019), o que pode levar à deficiência de Mg, caso os teores deste nutriente no solo não estejam em níveis altos.

No Brasil, já foram publicados alguns artigos e trabalhos que abordam e discutem as relações entre os nutrientes e seus efeitos na produtividade. Oliveira (1993) conclui que a relação Ca/Mg variando de 1 a 12/1 em solos com teor de Ca acima de 2,32 cmol_c dm⁻³ e de Mg acima de 0,4 cmol_c dm⁻³ não afetam o rendimento de matéria seca do milho. Quaggio (2000) faz uma profunda revisão sobre a relação Ca/Mg e conclui que somente relações abaixo de 1/2 (ou 0,5/1) e acima de 30/1 prejudicam a produtividade, mas porque nestas relações ou o teor de Ca ou o de Mg no solo estavam baixos. Este autor ainda utiliza a frase “é incompreensível a razão para motivar o grande volume de pesquisas sobre este tema, pois já a partir desta época, os resultados dos ensaios pioneiros mostravam que a relação Ca/Mg era pouco importante para a produtividade das plantas”.

Oliveira, Carmello e Mascarenhas (2001) observaram que a aplicação de K alterou o balanço nutricional da soja, porém não prejudicou a produção da planta quando a relação (Ca + Mg)/K estava dentro do valor ideal no solo, de 20 a 30/1, e quando o teor de K no solo foi superior a 0,16 cmol_c dm⁻³. Apesar de os autores não comentarem quais foram os teores trocáveis de Ca e Mg no solo nesta relação ideal (20-30/1), pode-se estimar, com os dados disponíveis

no trabalho, em, no mínimo, 2,05 e 1,15 cmol_c dm⁻³, respectivamente. Ou seja, valores considerados altos (Tabela 1).

Benites et al. (2010) concluíram que as relações entre nutrientes somente afetam a produtividade das culturas quando um dos nutrientes envolvidos está em níveis de deficiência, e que mais importante que a relação entre os nutrientes é manter os teores altos destes no solo.

Demattê (2011) não verificou efeito entre Ca/Mg no solo e produtividade da cana. Souza et al. (2016), ao utilizarem resultados obtidos na região do Cerrado brasileiro, consideram adequados os teores de Mg acima de 0,5 cmol_c dm⁻³ e afirmam que a relação Ca/Mg pode variar pelo menos entre 1:1 e 10:1 sem afetar a produtividade das culturas.

Mais recentemente, Firmano et al. (2019), em um experimento desenvolvido em plantio direto no qual a adubação com K foi interrompida por 8 anos, verificaram que o retorno da adubação com este nutriente, após este período, diminuiu a relação (Ca + Mg)/K do solo de mais de 60 para aproximadamente 10, na maior dose de K aplicada. Esta significativa diminuição foi devido ao aumento do teor trocável de K no solo (de 0,06 para 0,35 cmol_c dm⁻³, aproximadamente) e à diminuição dos teores de Ca (de 2,7 para 2,1, cmol_c dm⁻³, aproximadamente) e de Mg (de 1,4 para 0,9 cmol_c dm⁻³, aproximadamente). Da mesma forma, nas folhas de soja ocorreu aumento do teor de K e diminuição de Ca e Mg, conforme os autores discutem, devido ao efeito da competição do K com o Ca e Mg pela absorção, e ao efeito de diluição causado pelo maior crescimento da planta com a adubação potássica. Coincidentemente, também foram com as maiores doses (acima de 120 kg ha⁻¹ de K₂O) que houve maior produção de soja, pois nesta condição os teores de Ca, Mg e K no solo estavam em níveis adequados e, conseqüentemente, os valores da relação (Ca + Mg)/K também.

Considerando os resultados desses trabalhos, conclui-se que o teor do nutriente no solo é o que afeta a produtividade das culturas, e não a relação entre eles. Ou seja, a quantidade do nutriente disponível no solo deve ser alta, não importando a sua relação com os demais nutrientes.

Para complementar estes trabalhos, foram tabulados dados experimentais obtidos no Brasil que continham informações de análises de solo e produtividade de grãos de soja. A soja foi escolhida por ser a espécie mais cultivada no Brasil (34 milhões de hectares) e com experimentos distribuídos em todo o país. Na Tabela 4 consta um resumo das publicações e dos dados utilizados. Foram 17 referências, 31 resultados obtidos em seis estados do Brasil e em 14 safras (1998/1999 até 2016/2017). Foram consultados muitos outros trabalhos, mas devido à forma de apresentação dos dados (gráficos ou dados calculados) ou ausência de análises de solo, não foi possível acrescentar nesta revisão.

Tabela 4. Trabalhos e respectivos dados utilizados na análise desta revisão.

Estado	Locais/experimentos	Safra	Autor
Paraná	3	1998/1999	Moreira et al. (2001)
Mato Grosso do Sul	3	2002/2003, 2003/2004 e 2004/2005	Broch et al. (2011)
Mato Grosso	1	2005/2006	Golo et al. (2009)
Minas Gerais	2	2006/2007 e 2007/2008	Carvalho et al. (2010)
Paraná	1	2007/2008	Pauletti et al. (2014)
Paraná	4	2010/2011 e 2011/2012	Rodrigheto, Barth, Caires (2015)
Minas Gerais	2	2010/2011 e 2012/2013	Lacerda et al. (2015)
Minas Gerais	1	2011/2012	Hickmann et al. (2018)
Paraná	2	2012/2013 e 2013/2014	Krechinski et al. (2018)
Goiás, Mato Grosso, Paraná	4	2013/2014	Teixeira (2017)
Minas Gerais	1	2013/2014 e 2014/2015	Altarugio et al. (2017)
Goiás	1	2015/2016	Xavier et al. (2019)
Minas Gerais	1	2015/2016	Borghi et al. (2017)
Paraná	1	2015/2016	Firmano et al. (2019)
Paraná	2	2015/2016 e 2016/2017	Ambrosini et al. (2019)
Mato Grosso	1	2015/2016 e 2016/2017	Laroça et al. (2018)
Tocantins	1	?	Fageria et al. (2013)

Constata-se ampla variação na produtividade de grãos, desde 2.743 a 6.137 kg ha⁻¹, e no teor de bases no solo (Tabela 5). Em média, a produtividade de grãos é elevada, os teores de Ca, Mg e K são altos e as relações Ca/Mg e (Ca + Mg)/K e as participações de Ca, Mg e K na CTC estão dentro das faixas consideradas adequadas (Tabela 1).

A partir destes dados foram elaborados os gráficos das Figuras 4 e 5, onde consta o coeficiente de correlação entre a produtividade e as variáveis do solo. As maiores correlações, ainda que moderadas, ocorrem com a CTC e com os teores de Ca e Mg no solo (Figuras 4A, 4B e 4D). O teor de K (Figura 4C) teve menor correlação com a produtividade que o teor de Ca e Mg, o que é esperado, pois a adubação feita na própria safra pode corrigir rapidamente uma possível deficiência do solo.

Todos os teores de Ca estão acima de 0,7 cmol_c dm⁻³, considerado adequado por Raij et al. (1996), e apenas duas

áreas apresentam teor abaixo de 2,0 cmol_c dm⁻³, considerado adequado na maioria das referências (Tabela 1). Para Mg a situação é um pouco diferente: seis áreas (19% do total) estavam com teores iguais ou inferiores a 0,8 cmol_c dm⁻³, considerado baixo, e destas, três com teor igual ou menor que 0,5 cmol_c dm⁻³, considerado baixo por Souza e Lobato (2004) (Tabela 1). Fica claro que a maior frequência de deficiência ou de valores baixos de Mg em relação a Ca provavelmente se deve à aplicação de mais fontes de Ca (calcário calcítico, gesso, fosfatos de Ca) que de Mg (calcário dolomítico). Além disso, como visto anteriormente, ocorre maior possibilidade de lixiviação de Mg que de Ca. Esta é uma constatação preocupante, pois muitos agricultores têm buscado obter relações Ca/Mg altas, acima de 3/1, com a aplicação de calcário calcítico, o que pode estar induzindo a baixos teores no solo e à deficiência de Mg nas culturas.

Tabela 5. Valores maiores, médios e menores dos dados obtidos em 31 locais/experimentos de soja realizados no Brasil, contendo análise de solo e produtividade de grãos.

Valor	Safra	Grãos (kg ha ⁻¹)	Argila (%)	CTC (pH 7)	Ca --- (cmol _c dm ⁻³) ---	Mg ---	K ---	Relação Ca/Mg	(Ca + Mg)/CTC	Ca --- (% na CTC) ---	Mg ---	K ---
Maior	2016/17	6.137	85	18,6	7,9	3,3	0,67	6,8	32	56,2	22,5	5,8
Médio		3.758	52	9,9	3,9	1,4	0,31	3,1	18	40,1	14,4	3,3
Menor	1998/99	2.743	15	3,9	1,1	0,4	0,11	1,1	10	23,1	5,7	1,3

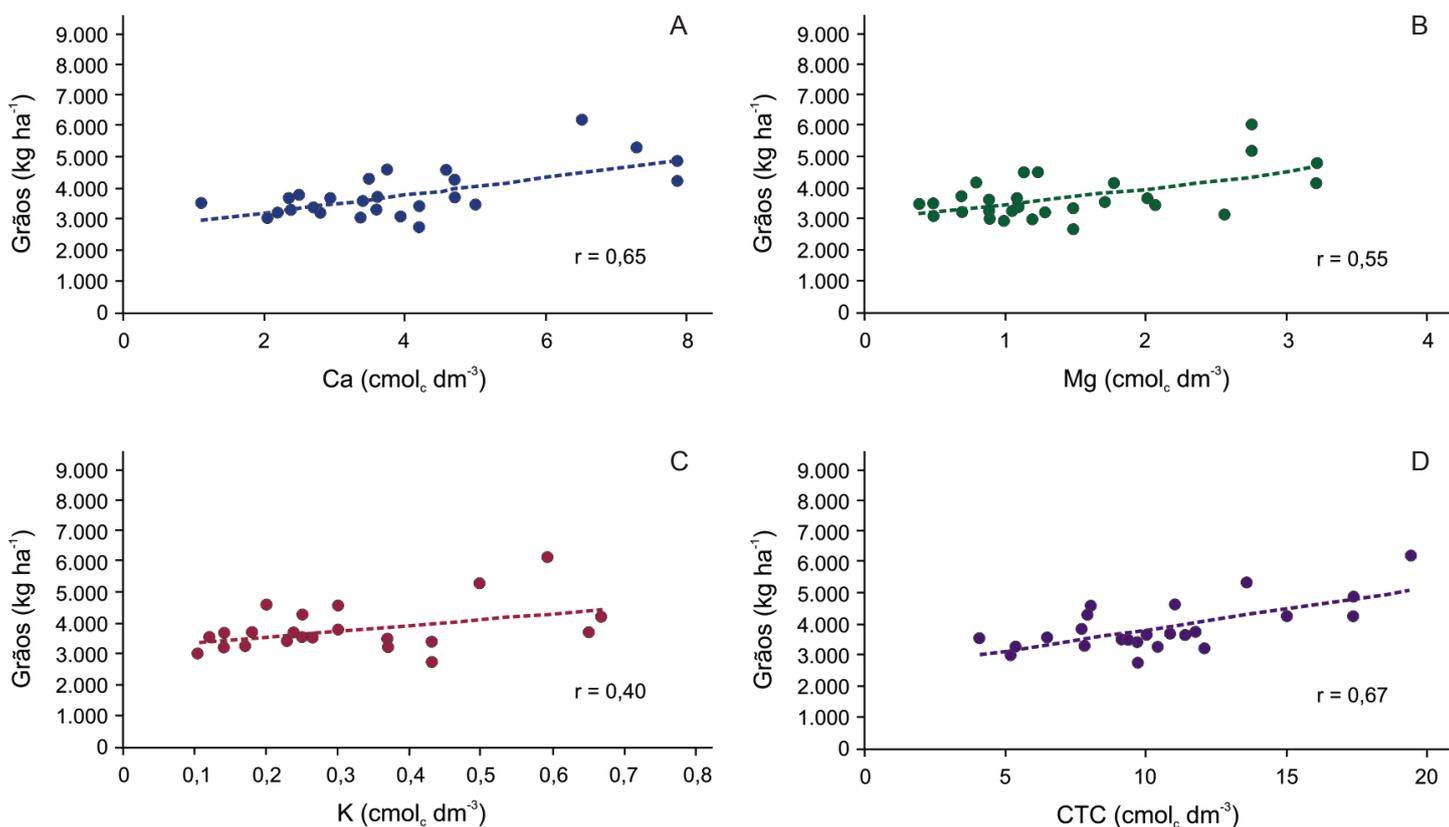


Figura 4. Relação entre produtividade de grãos de soja e teor de cálcio (A), magnésio (B) e potássio (C) e capacidade de troca catiônica (CTC) (D) do solo de 32 locais/experimentos desenvolvidos no Brasil.

Diferentemente da correção dos níveis de K, cuja adubação com KCl resulta em efeito imediato no solo e na planta, a correção de Ca e Mg é realizada com calcário e é mais lenta em profundidade no solo, se o sistema adotado for o plantio direto. Em média, quando se aumenta $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg no solo com a aplicação de calcário dolomítico (média de 30% de CaO e 19% MgO) ocorre aumento de $1,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca. Já ao se aplicar o calcário calcítico (média de 42% de CaO e 2% de MgO), com o aumento de $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg no solo há um aumento de $15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca (NEPAR, 2019). Ou seja, o calcário calcítico, apesar de corrigir a acidez, assim como o dolomítico, é muito menos efetivo na reposição de Mg lixiviado ou exportado com a colheita, e caso seja mantida a sua aplicação isolada ao longo dos anos, certamente levará à deficiência de Mg. Por outro lado, os calcários dolomíticos são muito mais equilibrados em relação a Ca e Mg, e se forem aplicados quando necessários nunca levarão à deficiência de Mg. Mesmo o seu excesso não prejudica a absorção de Ca pois, como visto na série liotrópica, as perdas de Mg são maiores e as relações entre eles não têm efeito na produtividade desde que os níveis no solo estejam altos.

A correlação moderada da produtividade de grãos com a CTC do solo (Figura 4D) é reflexo da conjunção de dados de várias regiões do país. Mas o aumento da produtividade em solos com maior CTC indica maior quantidade disponível de nutrientes (retidos nas cargas), assim como maior teor de argila

ou matéria orgânica, as quais apresentam relação direta com a retenção de água, condições favoráveis à produtividade da soja. Maiores CTCs efetivas também são obtidas com a calagem, a qual, além de aumentar os teores de Ca e Mg, aumenta o pH do solo e, conseqüentemente, as cargas negativas em solos com alto grau de intemperismo.

Diferentemente dos teores de Ca, Mg e K, as relações entre as bases não tiveram qualquer relação com a produtividade da soja (Figura 5). Nem mesmo a participação do Ca, Mg e K na CTC. Estes dados confirmam o que todas as literaturas consultadas encontraram e afirmaram: que o importante para garantir a produtividade das culturas é manter os teores disponíveis dos nutrientes em níveis altos no solo, independentemente de suas relações e participação na CTC.

Mas, então, por que a relação entre os nutrientes, em especial entre as bases do solo, e sua participação na CTC tornou-se tão importante? Qual a razão para utilizar estes índices para orientar a tomada de decisão quanto ao uso de diferentes adubos e corretivos se não há evidências de que esta é uma estratégia eficiente?

Essas questões ainda são muito importantes, pois podem levar a recomendações equivocadas, sem base técnica ou científica, e que podem comprometer a produtividade das culturas e, principalmente, a renda do produtor. Por exemplo, o uso de calcários com baixos teores de Mg fundamentado

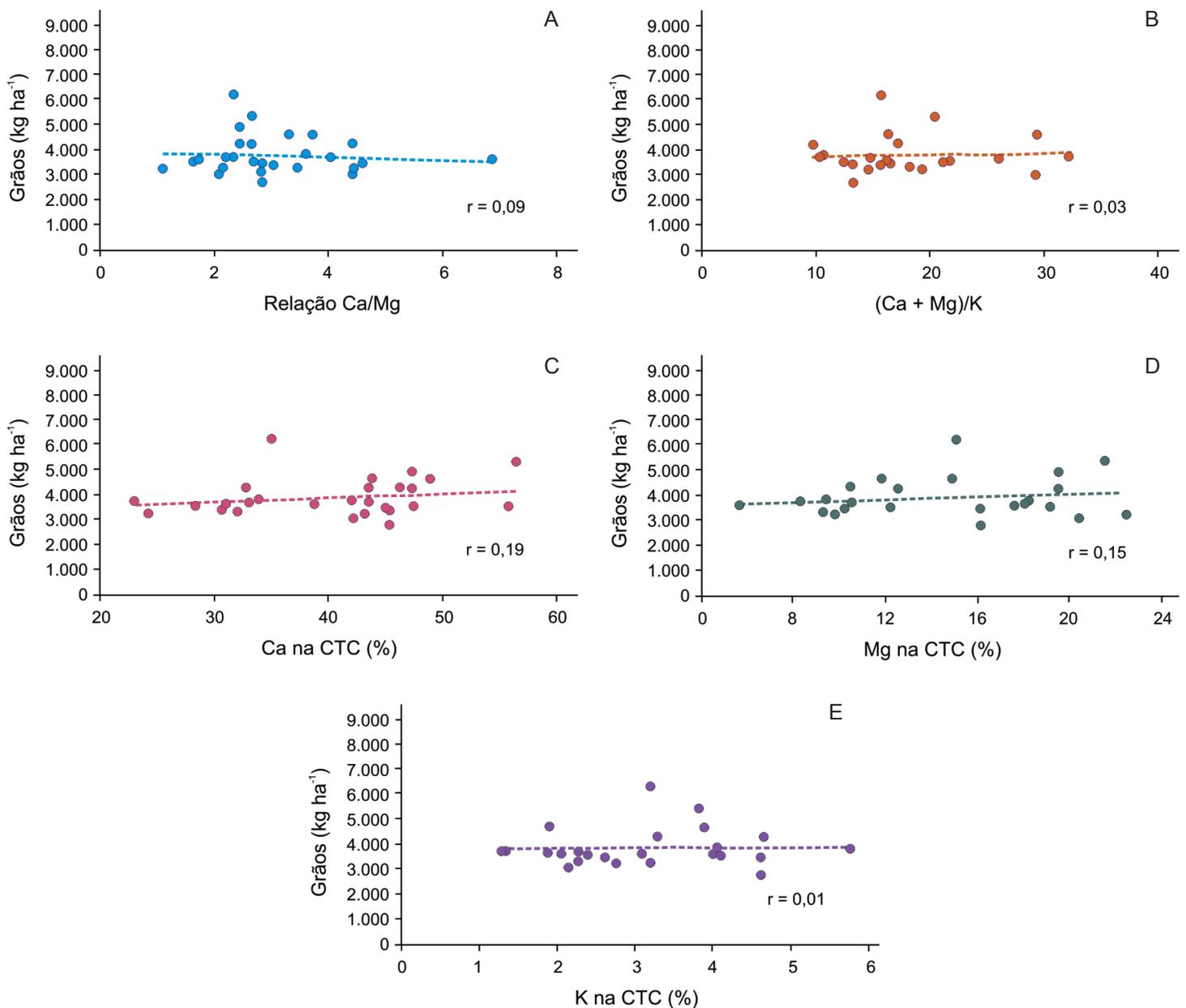


Figura 5. Relação entre produtividade de grãos de soja e relação Ca/Mg (A) e (Ca + Mg)/K (B) do solo e porcentagem das cargas do solo ocupadas por cálcio (C), magnésio (D) e potássio (E) em 31 locais/experimentos desenvolvidos no Brasil.

apenas no objetivo de elevar a relação Ca/Mg do solo pode conduzir à deficiência de Mg, comprometendo, a curto prazo, a produtividade das culturas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A competição entre os íons por cargas do solo e pela absorção pela planta ocorre de forma natural no solo. Apesar disso, não foram observados efeitos negativos na produtividade de grãos, tanto nas pesquisas pioneiras sobre o tema quanto nas mais recentes, quando os teores disponíveis dos nutrientes são mais altos no solo. Prejuízos ao crescimento e à produção das plantas somente são observados quando um dos nutrientes está em nível baixo ou próximo deste no solo.

Valores adequados da porcentagem dos cátions na CTC e das relações entre os nutrientes somente serão possíveis se os teores de cátions estiverem altos no solo.

Portanto, **o que interfere na produtividade das plantas é o teor do nutriente no solo e não a relação entre eles.**

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, F. A. D.; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B. D.; MESQUITA, H. A. D.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2000.

- ALMEIDA, R. E. M. de; FAVARIN, J. L.; OTTO, R.; FRANCO, H.; REIS, A. F. B.; MOREIRA, L. A.; TRIVELIN, P. Nitrogen recovery efficiency for corn intercropped with palisade grass. **Bragantia**, Campinas, v. 77, p. 557-566, 2018.
- ALTARUGIO, L. M.; LOMAN, M. H.; NIRSCHL, M. G.; SILVANO, R. G.; ZAVASCHI, E.; CARNEIRO, L. M. E. S.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C.; OTTO, R. Yield performance of soybean and corn submitted to magnesium foliar spray. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, p. 1185-1191, 2017.
- AMBROSINI, V. G.; FONTOURA, S. M. V.; DE MORAES, R. P.; TAMAGNO, S.; CIAMPITTI, I. A.; BAYER, C. Soybean yield response to *Bradyrhizobium* strains inoculation in fields with inoculation history in Southern Brazil. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 42, p. 1-11, 2019.
- AMBROSIO, R.; PAULETTI, V.; BARTH, G.; POVH, F. P.; SILVA, D. A.; BLUM, H. Energy potential of residual maize biomass at different spacings and nitrogen doses. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 41, p. 626-633, 2017.
- BEAR, F. E.; TOTH, S. J. Influence of calcium on availability of other soil cations. **Soil Science**, Beltsville, v. 65, n. 1, p. 69-75, 1948.
- BENITES, V. M.; CARVALHO, M. C. S.; RESENDE, A. V.; POLIDORO, J. C.; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, F. A. Potássio, cálcio e magnésio na agricultura brasileira. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Org.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. v. 2. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 53-65.
- BORGHI, E.; SIMÃO, E. de P.; RESENDE, A. V. de; GALVÃO, J. C. C.; SILVA NETO, S. P. da; PEREIRA, A. F. Evaluation of soybean cultivars of contrasting cycles according to the level of investment in fertilization. **American Journal of Plant Sciences**, Wuhan, v. 8, p. 2977-2994, 2017.
- BRAZ, L. B. P.; BRAZ, G. B. P.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, C. J. B.; SILVA, A. G.; BRAZ, A. J. B. P. Interference of volunteer corn on soybean grown under cerrado conditions. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 37, p. e019186093, 2019.
- BROCH, D. L.; PAVINATO, P. C.; POSSENTI, J. C.; MATIN, T. N.; DEL QUIQUI, E. M. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 791-796, 2011.
- CAMPOS, D. V. B.; LIMA, E.; ZONTA, E.; BELIEIRO, F. C.; GUERRA, J. G. M.; POLIDORO, J. C.; ANJOS, L. H. C.; FREIRE, L. R.; LEAL, M. A. A.; PEREIRA, M. G.; FERREIRA, M. B. C. **Manual de calagem e adubação para o Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 430 p.
- CARVALHO, E. R.; REZENDE, P. M.; OGOSHI, F. G. A.; BOTREL, E. P.; ALCANTARA, H. P.; SANTOS, J. P. Desempenho de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] em cultivo de verão no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 892-899, 2010.
- DEMATTE, J. L. I. Ação do gesso e do calcário na relação cálcio:magnésio do solo e na produtividade da cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 136, p. 11-16, 2011.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de Produção de Soja – Região Central do Brasil 2014**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, n. 16).
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 404 p.
- FAGERIA, N. K.; CASTRO, C. de; MOREIRA, A.; MORAES, M. F. Optimal acidity indices for soybean production in brazilian Oxisols. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 44, p. 2941-2951, 2013.
- FIRMANO, R. F.; OLIVEIRA, A. de; CASTRO, C. de; ALLEONI, L. R. F. Potassium rates on the cationic balance of an Oxisol and soybean nutritional status after 8 years of K deprivation. **Experimental Agriculture**, New York, v. 55, p. 1-19, 2019.
- GOLO, A. L.; KAPPES, C.; CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M. Qualidade das sementes de soja com a aplicação de diferentes doses de molibdênio e cobalto. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, p. 40-49, 2009.
- HICKMANN, C.; RESENDE, A. V. de; SILVA, C. A.; LACERDA, J. J. J.; MOREIRA, S. G.; CONCEIÇÃO, O. P. Profitability and efficiency of fertilization in a corn/soybean/corn system in a Latosol with improved fertility. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 9, p. 97-110, 2018.
- KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. dos.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. da. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema de plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 573-580, 2005.
- KRECHINSKI, F. H.; CESCO, V. J. S.; RODRIGUES, D. M.; ALBRECHT, L. P.; WOBETO, K. S.; ALBRECHT, A. J. P. Agronomic performance of soybean grown in succession to winter cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 53, n. 8, p. 909-917, 2018.
- LACERDA, J. J. J.; RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; HICKMANN, C.; CONCEIÇÃO, O. P. Adubação,

produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, p. 769-778, 2015.

LAROCA, J. V. S.; SOUZA, J. M. A.; PIRES, G. C.; PIRES, G. J. C.; PACHECO, L. P.; SILVA, F. D. da; WRUCK, F. J.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, L. S.; SOUZA, E. D. de. Soil quality and soybean productivity in crop-livestock integrated system in no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 53, n. 11, p. 1248-1258, 2018.

MATIELLO, J. B. **Novamente o magnésio muito deficiente e desfolhando cafezais**. 2015. Disponível em: <<https://www.cafepoint.com.br/noticias/tecnicas-de-producao/novamente-o-magnesio-muito-deficiente-e-desfolhando-cafezais-94466n.aspx>>. Acesso em 3 abril 2020.

MELINSKI, A. M. **Produtividade de soja e milho em função das práticas de rotação e calagem superficial em plantio direto**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2020.

MENDONÇA, J. C. Nutrição e adubação da cultura da banana no vale do Ribeira. In: GODOY, J. J. G.; NOMURA, E. S.; MORAES, W. S. Nutrição e adubação da cultura da banana. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 116, p. 14-19, 2006.

MOREIRA, S. G.; KIEHL, J. C.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 71-81, 2001.

NEPAR. Núcleo Estadual Paraná da SBCS. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed. Londrina: NEPAR-SBCS, 2019. 289 p.

NUMATA, I.; SOARES, J. V.; LEÔNIDAS, F. C. Comparação da fertilidade de solos em Rondônia com diferentes tempos de conversão de floresta em pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 949-955, 2002.

OLIVEIRA, E. L. Rendimento de matéria seca e absorção de cálcio e magnésio pelo milho em função da relação cálcio/magnésio do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, p. 383-388, 1993.

OLIVEIRA, F. A. de; CARMELLO, Q. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação submetida a calagem e adubação potássica. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 329-335, 2001.

PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 495-505, 2014.

PERAZZOLI, B. E.; PAULETTI, V.; QUARTIERI, M.; TOSELLI, M.; GOTZ, L. F. Changes in leaf nutrient content and quality of pear fruits by biofertilizer application in northeastern Italy. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 42, p. e-530, 2020.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, M. A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória, ES: INCAPER, 2013. 104 p.

QUAGGIO, A. J. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: IAC, 2000. 111 p.

RAIJ, B. Van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, SP: IAC, 1996. 285 p. (Boletim Técnico 100).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RODRIGHETO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1723-1736, 2015.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2004. 416 p.

SOUZA, D. M. G.; NUNES, R. S.; REIN, T. A.; SANTOS JR., J. D. G.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção na região do cerrado. In: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. (Ed.). **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no cerrado**. Goiânia:UFG, 2016. 503 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2nd ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 1998. 792 p.

TEIXEIRA, W. W. R. **Demanda nutricional, caracterização química do solo e dos ambientes agroclimáticos em áreas de alta produtividade de soja**. 2017. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2017.

TSUJIGUSHI, B.P. **Aplicação de corretivos de acidez e gesso agrícola e movimentação de cátions no perfil de diferentes solos**. 2019. 153 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2019.

XAVIER, W. D.; CARNEIRO, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, J. V. S.; PINTO, F. A.; RIBEIRO, D. O.; SOUSA, V. S.; RESENDE, A. V. Doses and application seasons of potassium in the soybean-corn succession in soil with improved fertility in the southwest of Goiás. **Journal of Agricultural Science**, Ontario, v. 11, p. 307, 2019.

FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS FOSFATADOS – ALTERNATIVA PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO BRASIL

Joaquim José Frazão¹
José Lavres Junior²

O fósforo (P) é um dos elementos minerais essenciais às plantas, pois atua em diversos processos biológicos, como, por exemplo, na transferência de energia (ADP, ATP), e é componente estrutural de ácidos nucleicos (DNA e RNA) e de membranas (fosfolipídios) (HAWKESFORD et al., 2012). Devido à natural baixa disponibilidade de P na maior parte dos solos brasileiros, a produção agropecuária no Brasil é altamente dependente do uso de fertilizantes fosfatados.

No período de 10 anos, o consumo de fertilizantes fosfatados no Brasil aumentou aproximadamente 43,4%, correspondendo a 1,55 milhão de toneladas (Figura 1). Nesse período, houve redução no consumo de algumas fontes, como superfosfato simples (- 2,47%), fosfatos naturais (- 72,05%) e formulados NPK (- 80,89%). Por outro lado, o consumo de fosfatos de amônio – por exemplo, MAP e DAP – e de superfosfato triplo aumentou significativamente – 2,55 e 86,08%, respectivamente. Esses dados indicam uma tendência de aumento no consumo de fertilizantes fosfatados mais concentrados, os quais permitem aumentar o rendimento operacional das práticas de fertilização, uma vez que a quantidade de fertilizante a ser aplicada por área é menor.

Tendo em vista essa tendência de aumento do consumo de fertilizantes fosfatados, é importante o desenvolvimento de estratégias capazes de aumentar a vida útil das reservas

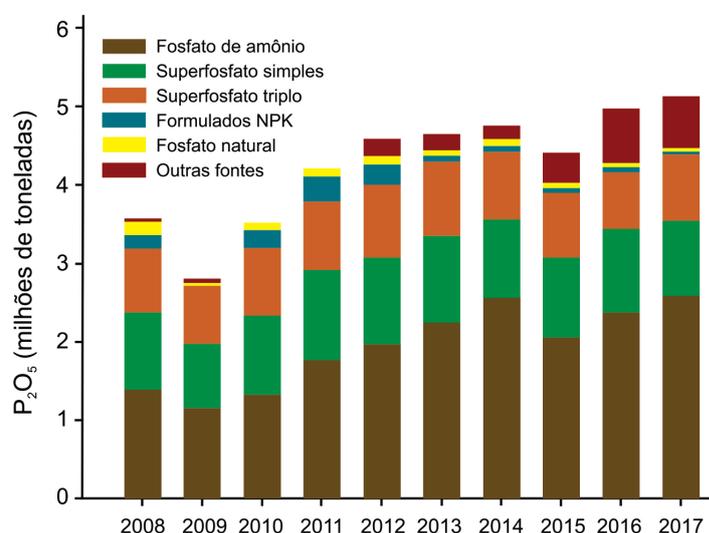


Figura 1. Consumo de fertilizantes fosfatados no Brasil no período de 2008 a 2017.

Fonte: IFA (2019). Elaboração própria.

minerais de P no mundo. Nesse contexto, a reciclagem de P a partir de resíduos agropecuários como, por exemplo, a cama de frango, representa uma opção estratégica para o Brasil, considerando que a maior parte (até 67%) dos fertilizantes fosfatos consumidos é importada (IFA, 2019).

Abreviações: ADP = adenosina difosfato, ATP = adenosina trifosfato, CMAP = capacidade máxima de adsorção de fósforo, DAP = fosfato diamônico, DNA = ácido desoxirribonucleico, FOM = fertilizantes organo-minerais, LVd = Latossolo Vermelho distrófico, MAP = fosfato monoamônico, P = fósforo, RNA = ácido ribonucleico, RQo = Neossolo Quartzarênico órtico, TSP = superfosfato triplo,

¹ Engenheiro Agrônomo, Professor do Instituto Federal Goiano (IF Goiano), Campus Iporá, Iporá, GO; e-mail: jj.ss.brs@gmail.com

² Engenheiro Agrônomo, Professor da Universidade de São Paulo (USP), Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA). Laboratório de Isótopos Estáveis, Piracicaba, SP; e-mail: jlavres@usp.br

O uso de resíduos orgânicos como fonte de nutrientes para as plantas tem ocorrido ao longo de séculos. No entanto, se utilizada de forma inadequada, essa prática implica em impactos ambientais negativos como, por exemplo, eutrofização de mananciais de água, visto que os resíduos orgânicos podem contaminar o ar, o solo e a água.

Adicionalmente, há problemas relacionados à aplicação de resíduos orgânicos ao solo, uma vez que eles apresentam variações em relação à forma física, densidade e umidade. Além disso, a composição química desses resíduos varia bastante, tanto em termos quantitativos quanto em proporção de elementos minerais, os quais dificultam atender a toda a demanda de nutrientes da planta apenas com a aplicação do resíduo orgânico. Portanto, o produtor necessita do uso de equipamentos específicos para a sua aplicação ao solo, bem como complementar a fertilização com outras fontes de nutrientes, o que contribui para a baixa adesão ao uso de resíduos na agricultura bem como para o risco de contaminação ambiental.

Nesse contexto, a produção de fertilizantes organominerais (FOM) a partir de resíduos orgânicos permite solucionar esses problemas relacionados à composição química e à eficiência de aplicação. A composição química pode ser corrigida com a adição de fertilizantes minerais específicos, de forma a atender a proporção de nutrientes minerais requeridos pela cultura. Já em relação à eficiência de aplicação, como as fontes orgânicas e minerais são moídas, homogeneizadas e depois granuladas (FRAZÃO et al., 2019), o produtor poderá utilizar os mesmos equipamentos no plantio (por exemplo, semeadora-adubadora), evitando-se, portanto, uma segunda operação de adubação, o que resulta em economia de tempo e custos de produção.

Há diversas pesquisas comparando a eficiência agrônoma dos FOM com a dos fertilizantes minerais. Há estudos em que os FOM foram superiores aos fertilizantes minerais em termos de incrementos produtivos e absorção de fósforo pelas plantas (GONDEK; FILIPEK-MAZUR, 2005; RADY, 2012; MACKAY et al., 2017), contudo, alguns autores não constataram diferenças entre eles (MAZEIKA et al., 2016; SAKURADA et al., 2016; FRAZÃO et al., 2019). Esses resultados contrastantes estão diretamente relacionados a fatores como composição química e forma física dos FOM (por exemplo, farelado, granulado, peletizado), bem como tipo de solo, modo de aplicação, tipo de cultura e duração do experimento.

Como os processos que governam a transformação do fosfato, a partir de formas orgânicas para formas disponíveis às plantas (inorgânicas), são controlados por inúmeros fatores do solo (BÜNEMANN, 2015; TAMBURINI et al., 2018), a quantidade de P disponível fornecida às plantas pode não ser suficiente e/ou não ser sincronizada para corresponder aos períodos de pico de demanda nutricional da planta, tornando-se um grande desafio, mas também uma oportunidade, para pesquisas e aprimoramento no desenvol-

vimento e utilização de fertilizantes com tecnologia agregada. Portanto, é premente considerar que, se os materiais orgânicos devem ser usados como fertilizantes contendo P, é necessário maior entendimento acerca do comportamento destes no sistema solo-planta, assim como o seu impacto na microbiologia do solo.

A determinação da viabilidade agrônoma de um novo FOM geralmente leva em consideração a produtividade e/ou a qualidade da cultura produzida, comparado a um ou mais fertilizantes minerais de referência. No entanto, essa abordagem simplista omite informações relevantes como, por exemplo, a eficiência de uso dos nutrientes fornecidos às plantas. Essas informações permitiriam aprimorar a formulação e a produção do FOM e, conseqüentemente, otimizar a quantidade de nutrientes aplicados.

Estudos com enfoque na eficiência de uso de P são relevantes, sobretudo em solos tropicais, onde a eficiência da adubação fosfatada é baixa. Assim, o desenvolvimento de FOM com ênfase no suprimento de P permitiria não apenas aumentar a eficiência de uso do nutriente, como também reduzir a dependência externa de fontes de P.

Nesse contexto, em um estudo recente publicado por Frazão et al. (2019), foi investigado o comportamento do P no solo e a resposta de milho à aplicação de uma fonte referência (superfosfato triplo – TSP) comparada a um FOM granulado, produzido a partir de cama de frango, e ao MAP (Figura 2 e Figura 3). Foram avaliadas cinco doses de P (0, 25, 50, 75 e 100 mg kg⁻¹) em dois solos contrastantes em termos de capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) – Latossolo Vermelho distrófico típico, LVd, e Neossolo Quartzarênico órtico típico, RQo. Os autores constataram

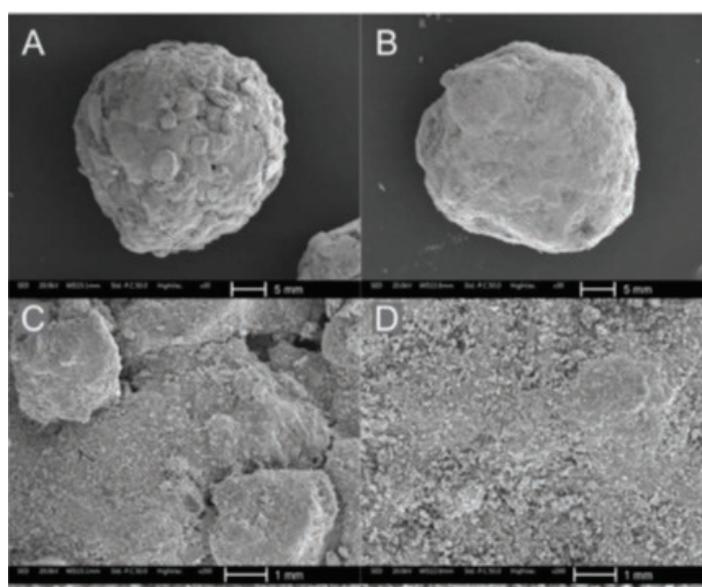


Figura 2. Imagens de microscopia eletrônica de varredura do fertilizante organomineral fosfatado produzido a partir de cama de frango (FOM; A e C) e do superfosfato triplo (TSP, B e D).

Fonte: Frazão et al. (2019).

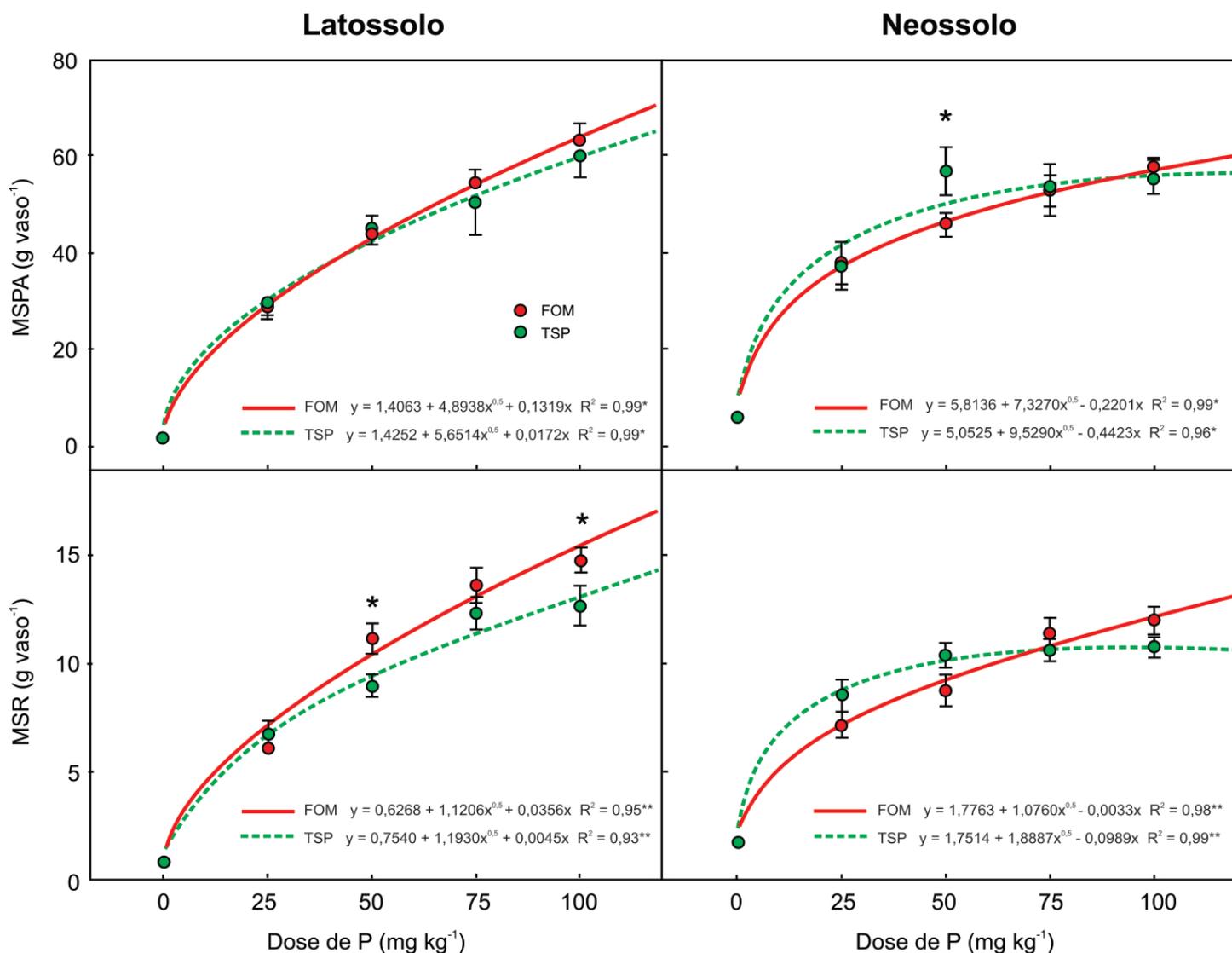


Figura 3. Produção de massa seca de parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR) de plantas milho fertilizadas com fertilizante organomineral fosfatado (FOM) ou superfosfato triplo (TSP) em duas classes de solo (Latossolo e Neossolo).

Fonte: Frazão et al. (2019).

que houve aumento significativo na produção de massa seca das plantas (parte aérea e raiz) com o aumento das doses de P, porém não houve diferenças entre as fontes, ou seja, FOM e TSP, independentemente da classe de solo (Latossolo ou Neossolo). Por outro lado, no Latossolo, a produção de raízes foi 12% maior com o fornecimento de FOM, possivelmente devido ao efeito promotor dos compostos orgânicos sobre o crescimento radicular, especialmente porque esse solo apresenta capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) muito maior que a do Neossolo.

Constatou-se também que a absorção de P pelas plantas aumentou linearmente com as doses de P, independentemente da fonte de P utilizada e do tipo de solo (Figura 4). No entanto, no Neossolo, o TSP foi superior ao FOM, exceto na dose de 25 mg kg⁻¹. Esse efeito ocorre devido aos efeitos somados da maior solubilidade do TSP e da baixa CMAP do Neossolo, que é arenoso. A maior solubilidade da fonte resulta em rápida

liberação de P para o solo e, como os processos de adsorção nesse solo são bastante reduzidos, a disponibilidade de P no solo é maior, permitindo maior absorção de P. Essa hipótese é claramente confirmada pelos resultados do fracionamento de P no solo (Figura 5), onde se observou maior quantidade de frações lábeis de P e quantidades significativamente menores de frações moderadamente lábeis e não lábeis, quando comparado ao Latossolo.

No entanto, mesmo absorvendo menor quantidade de P, a produção de biomassa das plantas fertilizadas com FOM foi similar à das plantas fertilizadas com TSP. Esses resultados mostram que o FOM aumenta a eficiência de uso de P, ou seja, é necessário absorver menor quantidade de P para produzir a mesma quantidade de biomassa.

Adicionalmente, a maior solubilidade da fonte TSP representa maior risco de perdas por processos de lixiviação (Neossolo = solo arenoso) e/ou adsorção, uma vez que maior

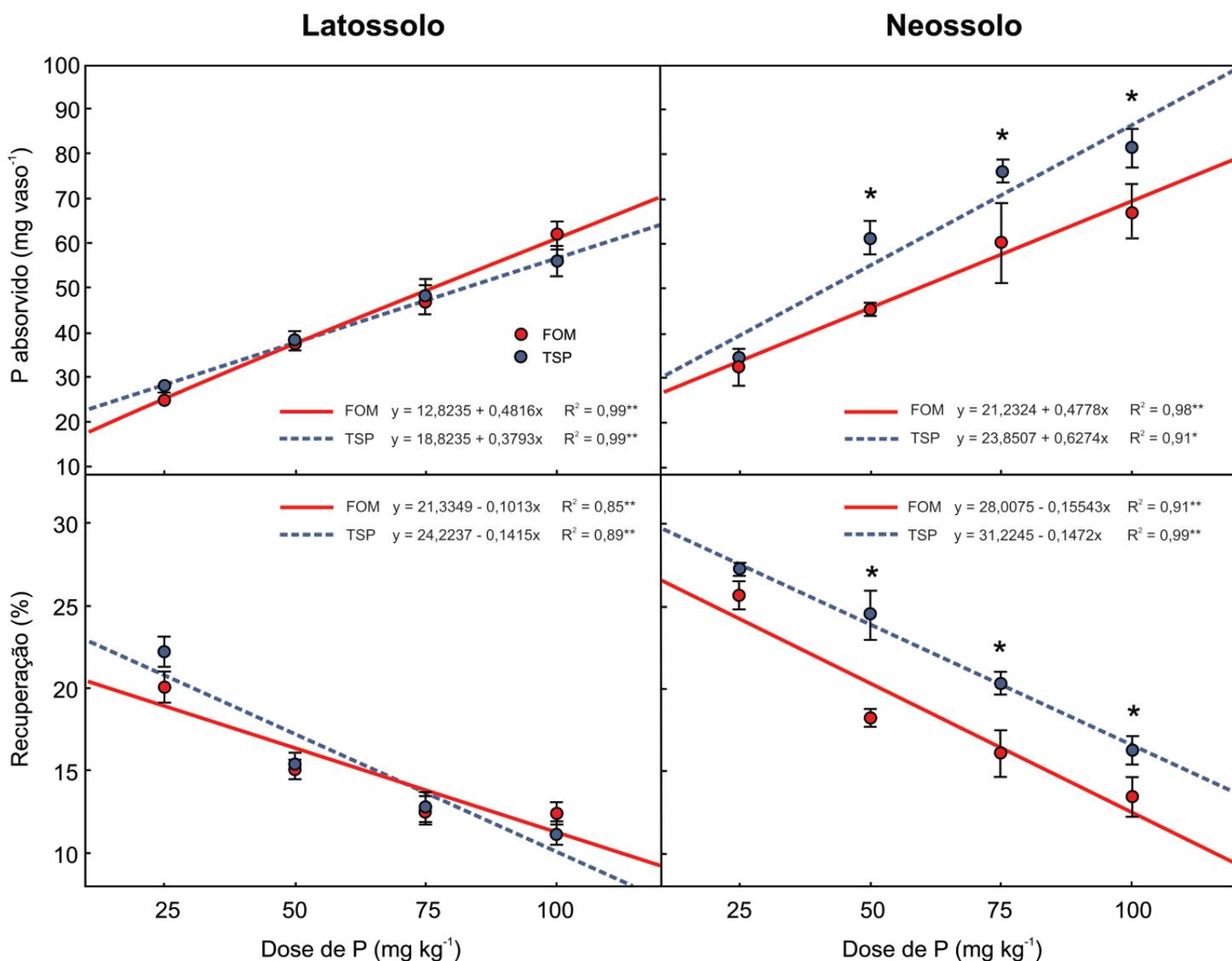


Figura 4. Percentual de recuperação do fósforo aplicado e absorção de fósforo por plantas milho fertilizadas com fertilizante organomineral fosfatado (FOM) ou superfosfato triplo (TSP) em duas classes de solo (Latossolo e Neossolo).

Fonte: Frazão et al. (2019).

quantidade de P foi liberada e a planta apresenta capacidade limitada de absorção de P. Considerando que a maioria dos solos brasileiros são bastante intemperizados e possuem elevada CMAP, como o Latossolo utilizado nesse estudo, esses resultados trazem contribuições relevantes para o aumento da eficiência da adubação fosfatada em solos brasileiros. A expectativa é que a eficiência do FOM em termos de P seja ainda maior do que a das fontes solúveis, como o TSP, caso o estudo seja de longa duração, pois o FOM testado atua como um fertilizante de liberação lenta (SAKURADA et al., 2016; FRAZÃO et al., 2019), mitigando os processos de perdas de P citados e aumentando a produção das culturas. Contudo, estudos de longa duração são importantes para confirmar essa hipótese.

Ficou constado nesse estudo de Frazão et al. (2019) que o FOM não apenas apresentou eficiência comparável à das fontes convencionais de P, mas também permitiu aumentar a eficiên-

cia de uso de P. Adicionalmente, os resultados das frações de P no solo indicam um efeito residual de P mais prolongado. Portanto, o FOM avaliado apresenta viabilidade agrônômica e contribui para a redução do consumo de fontes minerais de P.

Os resultados desse e de outros estudos mostram que a produção de FOM a partir de resíduos orgânicos é uma estratégia promissora não apenas do ponto de vista agrônômico, mas também ambiental, pois diminui o passivo ambiental. Esses resultados promissores confirmam o crescente consumo de FOM no Brasil.

Embora tenha sido estabelecido recentemente no Brasil, o segmento de fertilizantes organominerais já representa 12% de todo o faturamento do setor de tecnologia em nutrição vegetal no país, estimado em 910 milhões de reais (Figura 6). Em 2018, esse segmento apresentou o maior crescimento percentual (21%), a frente, por exemplo, dos fertilizantes foliares (19%) – segmento já estabelecido no país há mais tempo.

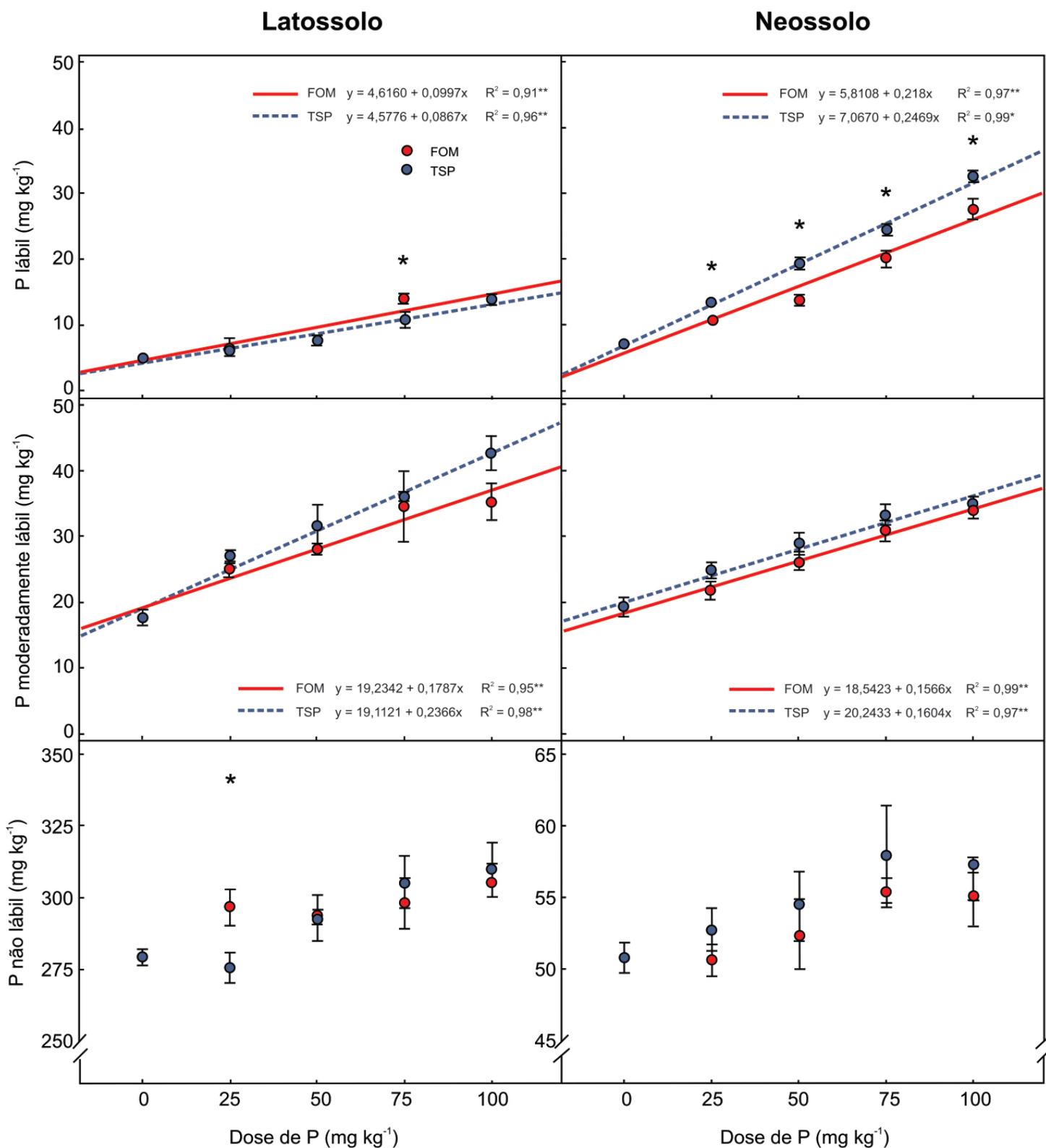


Figura 5. Frações de fósforo no solo (lábil, moderadamente lábil e não lábil) em duas classes de solo (Latossolo e Neossolo) fertilizadas com fertilizante organomineral fosfatado (FOM) ou com superfosfato triplo (TSP).

Fonte: Frazão et al. (2019).

O consumo de fertilizantes organominerais está concentrado nos estados de São Paulo (36%), Minas Gerais (15%), Rio Grande do Sul (10%) e Paraná (9%). Considerando a extensa área de cultivo dos demais estados no Brasil,

especialmente os da região Centro-Oeste – maiores produtores de grãos –, ainda há perspectiva de expansão significativa desse segmento no Brasil.

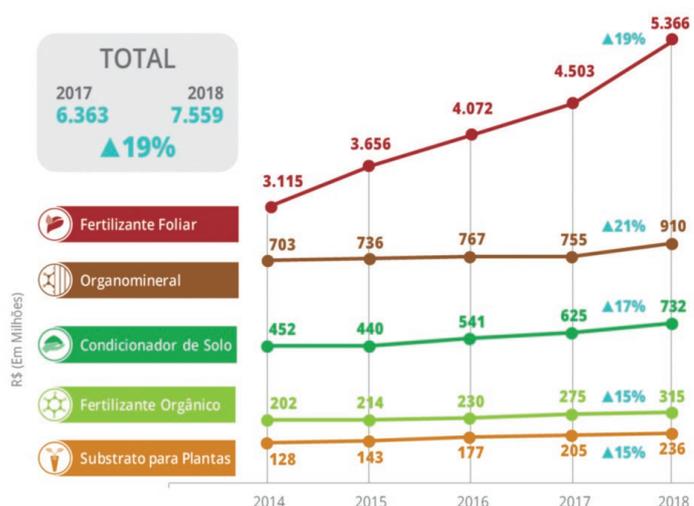


Figura 6. Evolução do faturamento dos segmentos das indústrias de tecnologia em nutrição vegetal no Brasil.
Fonte: ABISOLO (2019).

REFERÊNCIAS

ABISOLO. **Anuário brasileiro de tecnologia em nutrição vegetal**. 5. ed. São Paulo: Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal, 2019. 167 p.

BÜNEMANN, E. K. Assessment of gross and net mineralization rates of soil organic phosphorus – A review. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 89, p. 82-98, 2015.

FRAZÃO, J. J.; BENITES, V. D. M.; RIBEIRO, J. V. S.; PIEROBON, V. M.; LAVRES, J. Agronomic effectiveness of a granular poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer in tropical soils: Soil phosphorus fractionation and plant responses. **Geoderma**, Amsterdam, v. 337, p. 582-593, 2019.

GONDEK, K.; FILIPEK-MAZUR, B. The effects of mineral treatment and the amendments by organic and organomineral fertilisers on the crop yield, plant nutrient status and soil properties. **Plant, Soil and Environment**, Prague, v. 51, p. 34-45, 2005.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123849052000066>>. p. 135-189.

IFA. International Fertilizer Association. **IFA Data**. 2019. Disponível em: <<https://www.ifastat.org/databases>>. Acesso em: 28 out. 2019.

MACKAY, J. E.; MACDONALD, L. M.; SMERNIK, R. J.; CAVAGNARO, T. R. Organic amendments as phosphorus fertilisers: Chemical analyses, biological processes and plant P uptake. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 107, p. 50-59, 2017.

MAZEIKA, R.; STAUGAITIS, G.; BALTRUSAITIS, J. Engineered pelletized organo-mineral fertilizers (OMF) from poultry manure, diammonium phosphate and potassium chloride. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, Washington, v. 4, n. 4, p. 2279-2285, 2016.

RADY, M. M. A novel organo-mineral fertilizer can mitigate salinity stress effects for tomato production on reclaimed saline soil. **South African Journal of Botany**, Amsterdã, v. 81, p. 8-14, 2012.

SAKURADA, R.; BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; MUNIZ, A. S.; PAGLIARI, P. H. Organomineral phosphate fertilizers: agronomic efficiency and residual effect on initial corn development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 108, n. 5, p. 2050-2059, 2016.

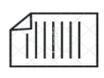
TAMBURINI, F.; PISTOCCHI, C.; HELFENSTEIN, J.; FROSSARD, E. A method to analyse the isotopic composition of oxygen associated with organic phosphorus in soil and plant material. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 69, p. 816-826, 2018.

CURSO ON-LINE SOBRE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DAS PRINCIPAIS CULTURAS COMERCIAIS DO BRASIL

NPCT.COM.BR
/VIDEOS



Em até 12x pelo PagSeguro



Emissão de Certificado



Renomados Especialistas



Aulas disponíveis por 12 meses

- **CURSO COMPLETO**
Dezoito palestras, contendo mais de 30 horas de aula.
- **MÓDULO APLICADO**
Sete palestras, contendo mais de 12 horas de aula.
- **MÓDULO BÁSICO**
Onze palestras, contendo mais de 19 horas de aula.
- **AULAS INDIVIDUAIS**
Adquira aulas específicas dos temas e palestrantes de interesse.



PATROCÍNIO





RELAÇÃO SOLO-PLANTA: BASES PARA A NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO VEGETAL

RESENHA DE LIVRO*

Adriano Nunes-Nesi¹
Agustín Gárate²
Alberto Masaguer³
André Vinicius Zabin⁴
Carla Godoy Soares Quinhones⁵
Cesar Arrese-Igor⁶
Claudio Roberto Marciano⁷
Dulce Nombre Rodríguez-Navarro⁸
Francisco Garcia-Sanchez⁹
Francisco Rubio¹⁰
Helena Maria Vieira Monteiro Soares¹¹
Herminia Emília Prieto Martínez¹²
Ildelfonso Bonilla¹³
Jacimar Luis de Souza¹⁴
Javier Abadía¹⁵
José Enrique Ruiz Sainz¹⁶

José Miguel Barea¹⁷
Juan José Lucena¹⁸
Juan Manuel Ruiz¹⁹
Luciana Aparecida Rodrigues²⁰
Luis Bolaños²¹
Luiz Romero²²
Marcelo Gomes Marçal Vieira Vaz²³
Maria Catarina Megumi Kasuya²⁴
Mariangela Hungria²⁵
Maribela Pestana²⁶
Reinaldo Bertola Cantarutti²⁷
Ricardo Henrique Silva Santos²⁸
Vicente Martínez²⁹
Vitor de Laia Nascimento³⁰
Wagner Luiz Araújo³¹

* Resenha do livro: **Relações solo-planta: bases para a nutrição e produção vegetal.**

¹ Engenheiro Agrônomo, DS., Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG; email: nunesnesi@ufv.br.

² Professor, DS., Departamento de Química Agrícola y Bromatología, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, Espanha.

³ Engenheiro Agrônomo, PhD, Departamento de Producción Agraria, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Espanha.

⁴ Engenheiro Agrônomo, DS., Diretor Técnico, Agros & Agronomico S.A., Paraguai.

⁵ Bióloga, DS., Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

⁶ Biólogo, DS., Departamento de Ciencias del Medio Natural. Universidad Pública de Navarra. Pamplona, Espanha.

⁷ Engenheiro Agrônomo, DS., Laboratório de Solos, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ.

⁸ Especialista em recursos naturais e agricultura ecológica, DS., IFAPA, Centro Las Torres - Tomejil, Sevilla, Espanha.

⁹ Especialista em estresses abióticos, DS., Departamento de Nutrición de Plantas, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia, Espanha.

¹⁰ Especialista em salinidade, DS., Departamento de Nutrición de Plantas, Campus Universitario de Espinardo, Murcia, Espanha.

¹¹ Química, DS., REQUIMTE/LAQV, Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal.

¹² Engenheira Agrônoma, DS., Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

¹³ Biólogo, DS., Departamento Biología, Facultad de Biología, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, Espanha.

¹⁴ Engenheiro Agrônomo, DS., INCAPER, Centro Regional Centro-Serrano, Venda Nova do Imigrante, ES.

¹⁵ Biólogo, DS., Departamento Nutrición Vegetal, Estación Experimental Aula Dei-CSIC, Zaragoza, Espanha.

¹⁶ Microbiologista, DS., Departamento de Microbiología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla, Sevilla, Espanha.

¹⁷ † Microbiologista, DS., Departamento de Microbiología del Suelo y Sistemas Simbióticos, Estación Experimental del Zaidín, CSIC, Granada, Espanha.

¹⁸ Químico, DS., Departamento de Química Agrícola y Bromatología, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, Espanha.

¹⁹ Especialista em Fisiologia Vegetal, DS., Departamento de Fisiologia Vegetal, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Granada, Espanha.

²⁰ Engenheira Florestal, DS., Laboratório de Solos, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ.

²¹ Especialista em Fisiologia Vegetal, DS., Departamento de Biología Facultad de Ciencias Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, Espanha.

²² Especialista em Fisiologia Vegetal, DS., Departamento de Fisiologia Vegetal, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Granada, Espanha.

²³ Biólogo, DS., Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

²⁴ Engenheira Agrônoma, DS., Departamento de Microbiología, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

²⁵ Engenheira Agrônoma, DS., Embrapa Soja, Londrina, PR.

²⁶ Engenheira Hortofrutícola, DS., Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Faro, Portugal.

²⁷ Engenheiro Agrônomo, DS., Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

²⁸ Engenheiro Agrônomo, DS., Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

²⁹ Especialista em Fisiologia Vegetal, D.S., Departamento de Nutrición de Plantas, Campus Universitario de Espinardo, Murcia, Espanha.

³⁰ Biólogo, DS., Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

³¹ Engenheiro Agrônomo, DS., Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

1. INTRODUÇÃO

A complexa relação entre o solo e a planta descreve a associação entre a matéria inorgânica e a matéria viva. Essa associação sustenta uma vasta cadeia de macro e microrganismos vegetais e animais, incluindo o homem. No livro publicado pela editora UFV – **Relações solo-planta: bases para a nutrição e produção vegetal** – busca-se integrar essas relações que abrangem interfaces entre ciência do solo, fisiologia vegetal, microbiologia e bioquímica.

Sabe-se que a agricultura impulsiona a economia da maioria das zonas em desenvolvimento e, historicamente, muito poucos países experimentaram um crescimento econômico rápido, que não tenha sido precedido ou acompanhado por um significativo crescimento agrícola. Nos “Objetivos das Nações Unidas para o desenvolvimento do milênio” consta reduzir a fome e a pobreza extrema pela metade e garantir a sustentabilidade do meio ambiente, e a principal ferramenta para alcançar esses objetivos continua sendo a aplicação e a ampliação do conhecimento agrônomo. Assim sendo, o foco deste livro é fornecer subsídios para uma agricultura embasada no conhecimento das propriedades e interações solo-planta-microrganismos, em harmonia com o meio ambiente, o qual denota a perda de estabilidade dos ciclos estacionais devido às mudanças climáticas.

A seguir, o conteúdo de seus 11 capítulos será descrito sucintamente.

2. O SISTEMA SOLO

O solo é o principal substrato para o crescimento das plantas e resulta do intemperismo das rochas em contato com a atmosfera e associado à ação dos seres vivos.

Tanto em solos quanto em substratos, as fases sólida, líquida e gasosa apresentam características químicas relevantes para a disponibilização de nutrientes às plantas. Nesse capítulo são discutidos: formação e presença de cargas superficiais, acidez, solubilização de sólidos e reações redox e de complexação que ocorrem no solo.

Dá-se destaque aos minerais de argila, óxidos e matéria orgânica, responsáveis pelas cargas de superfície, as quais definem se o solo terá maior ou menor capacidade de troca catiônica (CTC) e aniônica (CTA).

Na sequência, explicam-se os processos de disponibilização de nutrientes para as plantas, bem como o movimento dos nutrientes até as raízes e o equilíbrio dinâmico que existe entre os compartimentos solo (incluindo seus microrganismos)/planta/atmosfera durante o crescimento vegetal (Figura 1).

3. INTRODUÇÃO À NUTRIÇÃO VEGETAL: ELEMENTOS MINERAIS

A planta retira do solo ou do substrato os nutrientes essenciais ao seu crescimento. Embora a nutrição vegetal, diferentemente da nutrição animal, seja feita com substâncias simples, ou seja, elementos químicos, sua compreensão depende da interação entre conhecimentos de fisiologia e bioquímica vegetal, química inorgânica, ciência do solo, microbiologia e ecologia.

Nesse capítulo, faz-se uma abordagem clássica sobre os nutrientes essenciais ao crescimento das plantas (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) e sobre aqueles que, mesmo não sendo considerados essenciais, podem exercer efeitos benéficos (Si, Na, Co, Se, Al e Ti). Os critérios de essencialidade são discutidos, bem como as razões fisiológicas bioquímicas e moleculares para a essencialidade dos nutrientes (Tabela 1).

O histórico do desenvolvimento e os princípios das técnicas de cultivo em solução também são abordados, e os sintomas de carência de nutrientes descritos, alguns com ilustrações.

4. METABOLISMO DO NITROGÊNIO E DO ENXOFRE EM ORGANISMOS FOTOSSINTETIZANTES

Os macronutrientes essenciais nitrogênio (N) e enxofre (S) são absorvidos pelas plantas por meio de interações das raízes com o solo, ao passo que a assimilação dos mesmos demanda mecanismos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos altamente desenvolvidos, foco principal desse capítulo. De maneira particular, esses dois elementos são encontrados no solo principalmente em suas formas oxidadas, nitrato (NO_3^-) e sulfato (SO_4^{2-}), sendo, portanto, necessária a redução (com alto custo energético) a formas nas quais as plantas possam incorporá-los em aminoácidos. Assim, esse capítulo apresenta, de forma sucinta, o ciclo do N e do S, com foco particular nos fatores bióticos capazes de afetar a disponibilidade desses nutrientes. Em seguida, atenção particular é dada à absorção e transporte desses nutrientes pelas plantas e, por fim, seu consequente metabolismo assimilativo, e como essas vias podem ser reguladas.

5. FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO

O nitrogênio (N) é um dos principais constituintes dos organismos vivos e compõe diversas biomoléculas vegetais de grande importância, tais como ácidos nucleicos e proteínas,

Abreviações: Al = alumínio, B = boro, C = carbono, Ca = cálcio, Cl = cloro, Co = cobalto, CTA = capacidade de troca aniônica, CTC = capacidade de troca catiônica, Cu = cobre, Fe = ferro, H = hidrogênio, FBN = fixação biológica de nitrogênio, FMA = fungos micorrízicos arbusculares, K = potássio, LS = lignossulfonatos, Mg = magnésio, Mn = manganês, Mo = molibdênio, N = nitrogênio, Na = sódio, Ni = níquel, O = oxigênio, P = fósforo, PGPR = microrganismos promotores de crescimento vegetal, S = enxofre, Se = selênio, Si = silício, Ti = titânio, Zn = zinco.

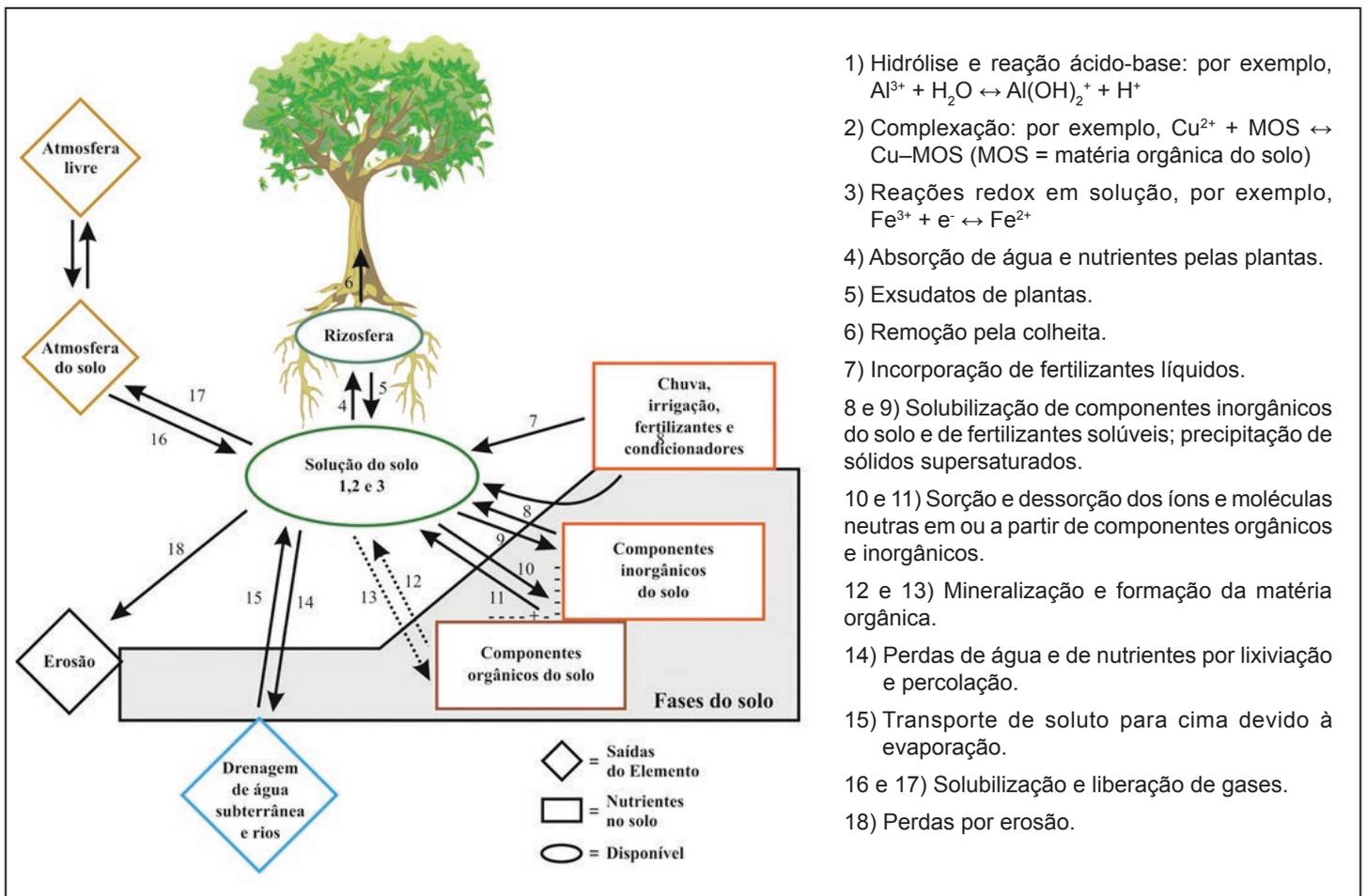


Figura 1. Equilíbrios dinâmicos e processos nos solos, incluindo as entradas e as perdas no sistema solo-planta.
Fonte: Adaptada de Lindsay (1979).

razão pela qual é o nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas. Embora o principal gás que compõe a atmosfera seja o N_2 , essa forma não é assimilável por plantas ou animais, por isso, as principais fontes de fornecimento desse nutriente para as plantas são os fertilizantes nitrogenados e a fixação biológica do nitrogênio (FBN). O processo biológico é realizado por alguns grupos de procariotos, especialmente bactérias, que conseguem capturar o N_2 e transformá-lo em formas assimiláveis pelas plantas. Os fertilizantes são caros e impactam negativamente o meio ambiente, explicando a importância da FBN, visando uma agricultura sustentável (Tabela 2). Entender o processo da FBN é fundamental para garantir avanços na utilização dos benefícios que podem ser obtidos e, nesse contexto, esse capítulo aborda quais são os principais microrganismos capazes de realizar esse processo e como é a reação enzimática de redução do N_2 para formas assimiláveis pelas plantas. As contribuições de microrganismos capazes de realizar a FBN, como bactérias de vida livre, cianobactérias e actinobactérias, são apresentadas. Ênfase é dada para a simbiose de bactérias conhecidas coletivamente, como a de rizóbios com leguminosas, como a soja e o feijoeiro, que estão na escala evolutiva mais elevada da FBN. O capítulo aborda a complexidade da formação dos nódulos e

como essas verdadeiras “fábricas de fertilizantes biológicos” funcionam, entregando produtos nitrogenados às plantas. As principais limitações à FBN são discutidas, com ênfase nos estresses ambientais. São apresentados dados de estimativas da contribuição da FBN para a agricultura e o meio ambiente. Contribuições importantes ocorrem com bactérias de vida livre, associativas e endofíticas, por exemplo, na associação com gramíneas. E, no caso da simbiose, há relatos de contribuições que superam 400 kg por hectare de N, com grandes impactos econômicos para a agricultura. O capítulo se encerra com a apresentação dos desafios científicos para incrementar a participação da FBN em uma agricultura que visa cada vez mais altos rendimentos com sustentabilidade e as perspectivas futuras de pesquisa e uso desse impactante processo biológico.

6. ESTRESSES ABIÓTICOS

Diversos fatores de estresses abióticos, tais como acidez, salinidade, deficiência hídrica, altas ou baixas temperaturas e alagamentos são abordados nesse capítulo. Esses fatores de estresse impedem que as plantas alcancem seu potencial genético máximo e limitam a produtividade agrícola em todo o mundo.

Tabela 1. Elementos essenciais: funções e sintomas de deficiência.

Micronutrientes		
	Funções	Sintomas de deficiência
Mo	Necessário para a fixação e redução do nitrato (constituente da nitrogenase, nitrato redutase e xantina desidrogenase).	Internervuras: clorose que surge primeiro nas folhas mais velhas e passa progressivamente para as mais jovens; clorose seguida de necrose nas áreas internervais e posteriormente nos tecidos restantes.
Ni	Parte essencial do sistema enzimático do metabolismo do N (constituente da urease; constituinte de desidrogenases nas bactérias fixadoras de N ₂).	Manchas necróticas nos ápices foliares.
Cu	Cofator ou componente de algumas enzimas envolvidas nos processos de oxidação e redução (componente da ácido ascórbico oxidase, tirosinase, monoamina oxidase, urease, citocromo oxidase, fenolase, lacase e plastocianina).	Folhas jovens, verde-escuro, torcidas, disformes e com algumas manchas necróticas.
Zn	Cofator ou componente de muitas enzimas (constituente da álcool desidrogenase, anidrase carbônica, etc.).	Redução da área foliar e do comprimento dos entrenós; folhas com margens, por vezes, distorcidas; cloroses internervais; são afetadas, principalmente, as folhas velhas.
Mn	Cofator de algumas enzimas; necessário para a integridade da membrana do cloroplasto e para a produção de oxigênio (necessário para a atividade de algumas desidrogenases, descarboxilases, quinases, oxidases e peroxidases. Envolvido com outras enzimas ativadas por cátions e na evolução do O ₂ fotossintético).	Clorose internerval das folhas jovens ou velhas, dependendo da espécie, seguida ou associada de manchas necróticas internervais; desorganização das membranas dos tilacoides.
B	Influencia a utilização do Ca ²⁺ , a síntese dos ácidos nucleicos e a integridade da membrana (complexos com manitol, manano, ácido polimanurônico e outros constituintes das paredes celulares, como ramnogalacturonano II, RG II. Envolvido na elongação celular).	O primeiro sintoma é a cessação de alongamento dos ápices radiculares; as folhas jovens ficam verde-claro na base; as folhas ficam distorcidas e há morte dos meristemas apicais da parte aérea.
Fe	Necessário para a síntese da clorofila e como constituinte dos citocromos e dos centros ferro-enxofre (nitrogenase, por exemplo).	Clorose internerval das folhas jovens; caules finos e curtos.
Cl	Envolvido no balanço iônico e osmótico; essencial nas reações fotossintéticas que produzem oxigênio (envolvido com outros cátions cofatores de enzimas; necessário para a atividade de algumas desidrogenases, descarboxilases, quinases, oxidases e peroxidases).	Murcha foliar com manchas cloróticas e necróticas; folhas muitas vezes com cor bronze; raízes atrofiadas em comprimento mas ápices espessos.
Macronutrientes		
	Funções	Sintomas de deficiência
S	Constituinte de alguns aminoácidos e de proteínas, como a coenzima A (componente da cisteína, cistina, metionina e proteínas. Constituinte do ácido lipóico, coenzima A, tiamina pirofosfato, glutatona, biotina, biotina, adenosina-5'-fosfosulfato e 3-fosfoadenosina).	Folhas jovens verde-pálido.
P	Componente de compostos fosfatados transportadores de energia (ATP e ADP), ácidos nucleicos, diversas coenzimas; fosfolípidos.	Plantas verde-escuro que, muitas vezes, acumulam antocianinas vermelhas ou púrpuras; caules atrofiados nos estádios tardios de desenvolvimento; folhas velhas ficam castanho-escuro e morrem.
Mg	Componente da molécula de clorofila; cofator de muitas enzimas.	Folhas cloróticas e manchadas; podem ficar avermelhadas; por vezes com manchas necróticas. Ápices e margens foliares virados para cima: afetadas principalmente as folhas velhas; caules delgados.
K	Participa no balanço iônico e osmótico responsável pela abertura e fechamento dos estômatos; cofator de muitas enzimas (mais de 40). Cátion principal no estabelecimento da turgescência celular e na manutenção da eletroneutralidade da célula.	Folhas cloróticas ou manchadas com pequenas manchas de tecido necróticas em especial nos ápices e nas margens; folhas velhas afetadas.
N	Componente de aminoácidos, proteínas, nucleótidos, ácidos nucleicos, clorofilas e coenzimas.	Clorose generalizada, em especial nas folhas velhas; em casos severos, as folhas ficam completamente amarelas, morrendo em seguida; algumas espécies ficam com a coloração púrpura devido à acumulação de antocianinas.

Fonte: Mengel e Kirkby (1987), Marschner (2012).

Tabela 2. Estimativas da contribuição da fixação biológica do nitrogênio (FBN) em algumas leguminosas de importância econômica.

Nome científico	Nome popular	Estimativa (kg ha ⁻¹ de N)
<i>Acacia</i> spp.	Acácia	5-50
<i>Arachis hypogaea</i>	Amendoim	32-206
<i>Cajanus cajan</i>	Guandu	68-88
<i>Centrosema</i> spp.	Centrosema	41-280
<i>Cicer arietinum</i>	Grão-de-bico	0-141
<i>Desmodium</i> spp.	Desmódio	25-380
<i>Gliricidia sepium</i>	Gliricídia	26-75
<i>Glycine max</i>	Soja	0-450
<i>Lens culinaris</i>	Lentilha	5-191
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucena	98-274
<i>Lupinus</i> spp.	Tremoço	19-527
<i>Medicago sativa</i>	Alfafa	45-470
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijoeiro	0-165
<i>Pisum sativum</i>	Ervilha	4-244
<i>Vigna unguiculata</i>	Feijão-de-corda	9-201

Fonte: Adaptada de Ormeño-Orrillo et al. (2013).

De particular importância são a acidez e a salinidade. No Brasil, os solos ácidos de cerrado representam uma área de 1,8 milhões de km². A região se caracteriza por oxissolos e ultissolos, com boas propriedades físicas, porém, com uma série de problemas de ordem química, como acidez excessiva, baixa disponibilidade de nitrogênio (N) deficiência de fósforo (P), cálcio (Ca) e, por vezes, magnésio (Mg); toxidez de alumínio (Al) e manganês (Mn).

De modo geral, pode-se dizer que, em valores de pH acima de 4,0, o baixo pH (altas concentrações de H⁺) não é o principal responsável pelo limitado crescimento das plantas, e que a toxidez de Al livre ou trocável, de Mn, e as deficiências múltiplas de nutrientes têm papel preponderante nessa limitação. Outro sério entrave ao uso agrícola desses solos é a acidez subsuperficial que restringe o aprofundamento radicular e é técnica e economicamente mais difícil de se corrigir.

O Al é tóxico às raízes que, sob seu efeito, tornam-se curtas, grossas, quebradiças, com aparência coraloide e coloração amarelo amarronzada. A elongação do eixo principal é inibida, há poucas ramificações laterais e o sistema radicular fica desprovido de raízes finas. Os danos causados ao crescimento radicular resultam em menor volume de solo explorado, com conseqüente redução na absorção de nutrientes e água. A parte aérea, em geral, não apresenta sintomas visuais específicos, embora sofra acentuada restrição no crescimento.

Além de ser tóxico às raízes em pH menor que 5,2, o Al³⁺ desloca outros cátions polivalentes, como Ca²⁺ e Mg²⁺, dos sítios de troca dos argilo-minerais, ocupando grande

porção do complexo sortivo. Ao mesmo tempo, o fosfato é fortemente adsorvido e formam-se complexos poliméricos solúveis de Al e fosfato.

Particularmente importante é o efeito do Al sobre a absorção de P, que é muito dependente do volume de solo explorado, ou seja, depende de um sistema radicular bem desenvolvido e ramificado. Em adição a isso, em solos ácidos o P tem a sua absorção e transporte diminuídos pela precipitação como fosfato de Al na superfície ou no interior da raiz.

A inibição da absorção de Ca e Mg também é frequentemente observada. Ela resulta da substituição de cátions por Al no complexo de troca do solo, e da competição por cátions ou bloqueio de sítios de absorção de Ca e Mg nas membranas das células radiculares.

A toxidez de manganês ocorre em solos ácidos em proporções bem menores que a de Al, e se deve ao aumento de sua solubilidade em pH menor que 5,0, em solos em que o material de origem é rico em manganês. Pode ocorrer, também, em solos de pH mais elevado se houver condições redutoras, tais como alagamento, compactação ou acúmulo de matéria orgânica. Nessas condições, as plantas absorvem e transportam manganês em quantidades excessivas, resultando em acúmulo nas folhas. A toxidez de Mn em solos ácidos relaciona-se à inibição da absorção de Ca e Mg, e pode manifestar-se como deficiência de Mg em folhas velhas ou deficiência de Ca em folhas novas.

Há ampla variação entre espécies e variedades na resposta ao Al tóxico. Maior ou menor tolerância se associa a mecanismos da planta para impedir a absorção do Al ou promover a detoxificação após a absorção. O conhecimento desses mecanismos permite que os melhoristas produzam variedades melhor adaptadas às condições de acidez.

A melhor forma de corrigir a acidez do solo é, entretanto, a aplicação de corretivos calcários. Em camadas mais profundas, onde não é possível incorporar o calcário, quando indicada, a correção deve ser realizada com gesso agrícola. A solubilização do gesso propicia a formação de pares iônicos neutros com o sulfato, que permite que Ca e outros cátions se movam em profundidade, enriquecendo de bases as camadas subsuperficiais, e formando íons Al-sulfato de baixa toxicidade às raízes das plantas. A precipitação do Al na forma de compostos sulfatados também contribui para a redução da saturação por Al e aumento da participação do Ca na CTC do solo, permitindo maior crescimento do sistema radicular.

A salinidade é um fenômeno natural característico de zonas áridas e semiáridas, onde a evaporação é maior que a precipitação, e onde a escassez de chuvas faz com que o uso da irrigação seja necessário para uma produção otimizada. Ela constitui um problema crescente na agricultura mundial, e de acordo com a FAO, até 2050 prevê-se que irá causar sérios problemas em mais de 50% de todas as terras agriculturáveis.

Um solo é considerado salino se a condutividade elétrica do extrato de saturação exceder 4 dS/m a 25 °C e se a

porcentagem da capacidade de troca catiônica do solo ocupado pelo sódio (Na) for inferior a 15. Valores de saturação com Na superiores a 15 indicam sodicidade.

A quantidade de sais que se acumula no solo irá depender da qualidade da água de irrigação, do manejo da irrigação e da adequação da drenagem. A água com $CEa < 0,7$ dS/m é considerada de boa qualidade e não tem qualquer grau de restrição de uso; entre 0,7 e 3 dS/m de CEa, o grau de restrição varia de leve a moderado e, acima de 3 dS/m, o rendimento da maioria das culturas é afetado pelo seu uso.

Em salinidades altas, o potencial hídrico externo pode ser reduzido e ficar abaixo do potencial hídrico da célula, resultando em secagem do tecido vegetal. Isto é conhecido como efeito osmótico de salinidade. Mas pode haver também efeito tóxico direto e interferência na absorção de outros nutrientes promovidos por Na^+ e Cl^- , que geralmente são os íons dominantes nessas condições.

A tolerância de uma planta à salinidade consiste na capacidade que ela tem de suportar os efeitos do excesso de sal, e não é um valor exato. Algumas espécies são mais sensíveis durante o crescimento vegetativo inicial do que durante os estádios reprodutivos de desenvolvimento. Árvores frutíferas e videiras modificam sua tolerância ao sal dependendo do porta-enxerto, e isso parece estar relacionado com a capacidade de diferentes porta-enxertos de regular a absorção e o transporte de Na^+ e Cl^- da raiz para a parte aérea.

Algumas práticas ajudam a combater ou minimizar os efeitos da salinidade:

- Lixiviação: Se o solo afetado por sais não apresenta excesso de Na, deve ser feita após a instalação de drenos, com abundante e frequente aplicação de água de boa qualidade, permitindo que os sais solúveis sejam lixiviados e drenados.

- Aplicação de gesso: Quando o solo tem elevadas concentrações de Na trocável, é preciso que esse íon seja substituído por outro, em geral o Ca, no complexo de troca, e em seguida seja lixiviado e retirado via sistema de drenagem.

- Adição de enxofre: Pode ser realizada com S elementar, ácido sulfúrico ou sulfato de ferro, e traz bons resultados, especialmente quando há abundância de carbonato de sódio. A lixiviação deverá ser promovida após, pelo menos, 30 dias, tempo necessário para a formação de sulfato de cálcio.

- Manejo adequado das práticas de irrigação: Deve-se sempre evitar o uso excessivo de água, a menos que se deseje promover a lixiviação dos sais. Recomendam-se irrigações leves e frequentes, de modo a manter a concentração de sais suficientemente baixa para permitir o crescimento das plantas.

- Matéria orgânica: A adição de materiais orgânicos, sozinhos ou em misturas, em geral promove a redução da densidade aparente do solo e aumenta sua porosidade ao longo do perfil; tem efeito positivo na CTC e no número e estabilidade de agregados. Essas alterações resultam em aumento da capacidade de retenção de água, melhoria da condutividade hidráulica e infiltração da água.

7. DIAGNÓSTICO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS E AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO

Sabe-se que as plantas necessitam de todos os nutrientes essenciais em quantidades e proporções adequadas para completar seu ciclo de vida. A falta de qualquer um deles leva a reduções no crescimento e na produção, podendo originar sintomas de deficiência e, em casos extremos, causar a morte da planta.

Como as funções dos nutrientes são praticamente as mesmas em todas as espécies, os sintomas de deficiência de um dado nutriente, de modo geral, são semelhantes. Desse modo, uma das formas de diagnosticar o estado nutricional das plantas é pelo diagnóstico visual. Entretanto, o aparecimento de um sintoma é o estágio final dos desarranjos metabólicos desencadeados pela sua falta, então, quando o sintoma se manifesta, o crescimento e a produção já foram prejudicados. Outro problema é que, no campo, mais de um sintoma pode se manifestar ao mesmo tempo, tornando difícil a correta identificação, e os sintomas de ataques de doenças podem ser semelhantes aos de carência nutricional. Na prática, esse tipo de diagnóstico tem mais utilidade para plantas perenes ou para prevenir perdas em um próximo ciclo da cultura.

A relação teórica existente entre concentração de um nutriente nos tecidos, crescimento e produção é conhecida (Figura 2), de modo que é possível estabelecer faixas de concentrações adequadas para garantir o crescimento e a produção para as mais diversas culturas. Essas faixas permitem fazer o diagnóstico com base na análise dos tecidos, muito mais apurado do que o diagnóstico visual.

Embora mais apurado, o diagnóstico com base na análise de tecidos também apresenta limitações, que devem ser levadas em conta para que o diagnóstico seja correto, pois

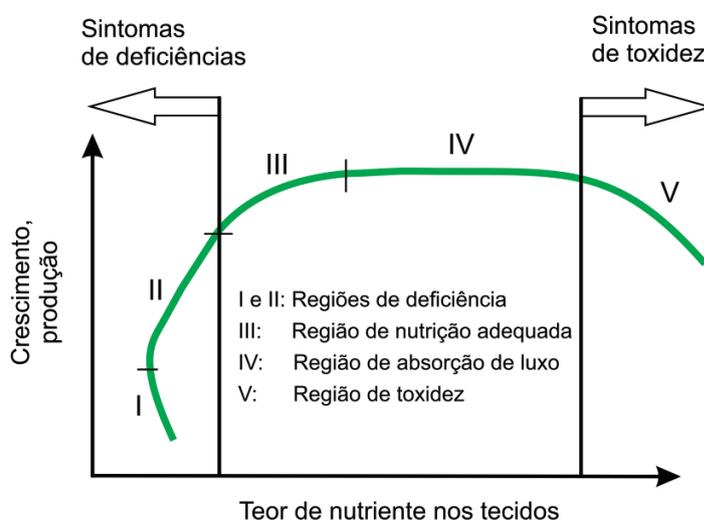


Figura 2. Relação entre crescimento ou produção e teores de nutrientes em tecidos de plantas.

Fonte: Adaptada de Moorby e Besford (1983).

fatores da planta e do ambiente interferem nas concentrações dos nutrientes nos tecidos vegetais. Por essa razão, os padrões (normas) de seleção e coleta do tecido a ser analisado têm que ser rigorosamente seguidos para que se obtenham resultados confiáveis e, assim, um bom diagnóstico.

Uma vez coletadas, as amostras devem ser enviadas ao laboratório no mesmo dia. Caso isso não seja possível, recomenda-se armazenar as amostras acondicionadas em saco plástico, em refrigerador, a 5 °C. Na impossibilidade de encaminhar as amostras frescas ao laboratório, é aconselhável que as folhas sejam lavadas com água corrente e enxaguadas com água filtrada ou destilada, acondicionadas em sacos de papel e postas para secar ao sol antes do envio ao laboratório. No laboratório, as amostras serão secas, moídas e analisadas. É importante que o laboratório seja confiável e disponha de um sistema de acompanhamento e avaliação da qualidade.

De posse dos resultados é necessário interpretá-los corretamente, ou seja, os valores obtidos tem que ser comparados aos valores ou faixa de valores considerados adequados para a cultura em questão. Esses padrões são obtidos pela pesquisa, disponibilizados em livros e boletins especializados ou mesmo pelos laboratórios. Os padrões ou normas são obtidos de plantas normais, amostradas exatamente da mesma forma como foram retiradas as amostras da lavoura que está sendo diagnosticada. São chamadas de plantas normais as plantas da mesma espécie e variedade sem limitações no crescimento e altamente produtivas.

Há mais de uma maneira de fazer essa comparação. O método mais utilizado é o das faixas de suficiência ou faixas críticas, em que o valor obtido na análise para uma determinada lavoura é comparado com faixas pré-estabelecidas de concentrações consideradas baixas, adequadas, altas e muito altas. Esse método é bastante simples, porém não considera as interações que ocorrem entre os nutrientes. Métodos como o DRIS e o CND consideram as relações entre os nutrientes e o balanço global entre eles, mas exigem ferramentas computacionais.

É importante destacar que a análise da planta avalia apenas a planta e não fornece informações seguras sobre as condições do solo. A análise da planta também não permite saber que dose do nutriente deve ser fornecida como fertilizante para sanar uma deficiência. Então, é necessário sempre aliar a análise da planta com a análise do solo.

A grande vantagem da análise química do solo é a possibilidade de prever a disponibilidade de nutrientes (deficiência ou toxidez) antes do cultivo, muito embora a absorção de nutrientes possa ser limitada por outros fatores. Além disso, a análise do solo é importante para recomendar calagem e verificar o acúmulo de determinados nutrientes em diferentes camadas do solo. Também no caso da análise do solo, é preciso seguir rigorosamente os padrões de retirada das amostras e realizar as análises em laboratórios confiáveis, bem como usar padrões corretos para a interpretação dos resultados.

8. SUBSTRATOS PARA O CRESCIMENTO DE PLANTAS

O termo substrato, em horticultura, aplica-se a qualquer material sólido utilizado para a ancoragem do sistema radicular. Esses materiais podem ser utilizados puros ou em misturas com outros materiais ou considerando um mesmo material, mas com diferentes granulometrias. O substrato muitas vezes apresenta vantagens na produção de plantas, comparativamente ao solo. Dependendo de sua origem, os diferentes materiais orgânicos utilizados na composição de substratos são classificados como naturais (turfas, fibras de coco, cascas, serragens), sintéticos (poliuretano ou poliestireno expandido) e subprodutos ou resíduos que necessitam de tratamento especial de compostagem. Por outro lado, materiais inorgânicos também podem ser classificados como naturais (areia, cascalho e cinzas vulcânicas), minerais de rocha tratados termicamente (perlita, vermiculita, lã de rocha) e os materiais de reaproveitamento de resíduos (resíduo de carvoaria e de construção civil).

O substrato é um sistema de três frações, cada uma com uma função específica: (i) a fração sólida, que permite assegurar a sustentação mecânica do sistema radicular e a estabilidade da planta; (ii) a fração líquida, que permite a manutenção de água e também o fornecimento de nutrientes para a planta através das interações com a fração sólida; e (iii) a fração gasosa, que assegura a transferência de O₂ e CO₂ no ambiente radicular.

O conhecimento das propriedades físicas e químicas do substrato é importante para que o mesmo possa ser utilizado com sucesso em cultivos distintos, e principalmente para o uso em recipientes, ou seja, em espaço e volume limitados para o crescimento das raízes e a retirada de água e nutrientes. Além disso, durante o crescimento das plantas, os atributos do substrato são muitas vezes modificados pela degradação física de seus componentes e pela ocupação do espaço poroso pelas raízes. Quanto menor o tamanho das partículas, ou seja, quanto mais decomposto for o substrato, maior será sua densidade, acarretando modificações nas relações entre a água e o ar na ocupação do espaço poroso.

Assim, a avaliação da estabilidade estrutural associada à composição granulométrica, à densidade e à porosidade do substrato são importantes uma vez que todas essas propriedades afetam direta ou indiretamente o fluxo de gases e o conteúdo e potencial de água nos substratos. Outra propriedade física que afeta o desempenho do substrato está relacionada com a afinidade da água pela fração sólida. Ciclos alternados de molhamento e secagem podem alterar as propriedades da interação entre a água e o substrato. Na prática, verifica-se que o molhamento completo de determinados produtos pode demorar muito tempo. O rigoroso manejo da irrigação para evitar o ressecamento do substrato é importante no sucesso do cultivo, mas o uso de coadjuvantes adicionados ao substrato, tais como areia e argila, dentre outros, pode ser importante para o ajuste nas questões de irrigação.

Dependendo da reatividade química, os substratos podem ser classificados em dois grupos, representando condições extremas: i) substratos quimicamente inertes, que são aqueles que não apresentam degradação química ou bioquímica, não são capazes de liberar nutrientes e não afetam a nutrição das culturas; eles atuam principalmente como suporte físico da planta, e ii) substratos reativos ou não inertes: são aqueles que reagem libertando nutrientes para a solução devido à degradação, dissolução, troca ou outras reações. O teor total de nutrientes nos substratos é bastante variável, e aqueles que fazem parte da estrutura dos substratos nem sempre estão disponíveis. Sua disponibilidade ocorreria apenas com a desintegração e desestruturação do material, características que são indesejáveis em um bom substrato; por outro lado, a fertilização permite a possibilidade de um maior controle do oferecimento dos nutrientes em função da espécie, do crescimento e do desenvolvimento das plantas, embora seja requerida maior tecnologia, além do custo de mão de obra para realizar essa fertilização.

A capacidade de troca de cátions (CTC) desempenha papel fundamental na reserva de nutrientes para as plantas, e dela dependerá o manejo da nutrição e adubação nos sistemas de cultivo que empregam substratos. A alta CTC ($> 20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) possibilita maior retenção de bases nas cargas negativas do substrato, proporcionando maior tamponamento dos nutrientes na fase líquida. Substratos com baixa CTC apresentam maiores perdas de nutrientes por lixiviação, tornando maior a dependência da adubação, além da maior frequência para a fertirrigação.

9. FERTILIZANTES INORGÂNICOS

A agricultura moderna busca alcançar altos rendimentos e qualidade dos produtos, sem prejudicar a qualidade ambiental. Altas produtividades, por sua vez, requerem nutrição adequada das plantas. Assim, os fertilizantes contendo formas disponíveis de nutrientes podem ser usados para restituir ao solo os nutrientes absorvidos pelas culturas.

Os fertilizantes melhoram a fertilidade natural do solo e incrementam formas solúveis de elementos que, embora presentes no solo, podem não estar prontamente disponíveis para as plantas. Um programa racional de fertilização deve equilibrar a necessidade da cultura para alta produtividade e os aspectos ambientais relacionados à prática da fertilização.

Fertilizantes são diferentes de corretivos e condicionadores de solo. Enquanto o principal propósito dos fertilizantes é prover nutrientes para as plantas, os corretivos (por exemplo, calcários) e condicionadores de solo (epor exemplo, matéria orgânica, gesso agrícola) são usados para modificar as propriedades físicas, químicas ou biológicas do solo a fim de melhorar a fertilidade, mas não necessariamente fornecer nutrientes.

Nesse capítulo consideram-se os fertilizantes inorgânicos ou minerais, ou seja, aqueles fertilizantes em que os nutrientes declarados se encontram na forma mineral, e são obtidos através de extração ou processos industriais físico-

químicos. Existem vários critérios de classificação dos fertilizantes. Dependendo da sua origem, eles podem ser naturais ou sintéticos. Com respeito à forma física, os fertilizantes podem ser gases (por exemplo, amônia), líquidos (principalmente soluções, mas também suspensões) e sólidos (granulados, farelados ou pó). Considerando o número de nutrientes, os fertilizantes podem ser simples (apenas um nutriente) ou compostos (dois ou mais nutrientes, por exemplo, NP, NPK). Considerando a demanda das plantas, estes podem ser classificados em macronutrientes primários (N, P e K), macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) ou fertilizantes micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo). A composição dos fertilizantes é geralmente expressa por três números correspondentes à concentração de N, P_2O_5 e K_2O . Por exemplo, um fertilizante de fórmula 04-30-10 contém 4% de N, 30% de P_2O_5 e 10% de K_2O .

O N é um nutriente exigido em grande quantidade, e apesar de ser o elemento mais abundante na atmosfera, a contribuição natural do solo não é suficiente para suprir o requerimento das culturas para altos rendimentos. Contudo, seu suprimento está garantido devido à abundância do elemento na atmosfera, de onde é retirado industrialmente na produção de fertilizantes nitrogenados.

Os fertilizantes nitrogenados podem ser à base de amônia, nitrato ou produtos amídicos. Dentre as diferentes fontes destacam-se: gás de amônia anidra, solução de amônia, sulfato de amônio, nitrato de cálcio, nitrato de magnésio, nitrato de sódio, nitrato de amônio, nitrossulfato de amônio e ureia. Mais recentemente, tem sido dada ênfase aos fertilizantes capazes de prover N para as plantas em pequenas quantidades por um longo período de tempo. Estes produtos são chamados fertilizantes de liberação lenta (controlados por reações microbiológicas) e fertilizantes de liberação controlada, nos quais a liberação de N é regulada por meio de processos físicos e químicos.

O P é requerido pelas plantas em quantidades menores que as de N, porém sua disponibilidade no solo é baixa e sua solubilidade é dependente do pH, sendo favorecida na faixa de pH 6,0. A principal matéria prima para a produção de fertilizantes fosfatados são as rochas fosfáticas, das quais resultam o superfosfato simples (reação entre ácido sulfúrico e rocha fosfática moída) e o superfosfato triplo (tratamento da rocha fosfática com ácido fosfórico), que são os mais usados. Os fertilizantes fosfatados protegidos por polímeros, visando a proteção e liberação controlada de P, são de introdução recente. Copolímeros com alta densidade de carga podem ser aplicados sobre o adubo granulado como um revestimento ou misturado a fertilizantes líquidos. O polímero aplicado ao solo dissolve-se em água e sequestra os cátions antagonistas (Fe, Al, Ca), que reagem com P na solução do solo do microambiente em torno do grânulo de fertilizante, evitando a fixação e proporcionando maior disponibilidade de P ao longo do tempo.

O K, requerido em grandes quantidades pela maioria das plantas cultivadas, tem como principais fontes o cloreto

e o sulfato de potássio. Já dentre os fertilizantes inorgânicos compostos destacam-se o nitrato de potássio, o MAP e o fosfato de potássio.

Cloreto de cálcio; nitrato de cálcio; nitrofosfato; sulfato de potássio, cálcio e magnésio; sulfato de cálcio; nitrossulfocálcio; cloreto de magnésio; nitrato de magnésio; sulfonitrato de amônio e magnésio; quelato de cálcio e quelato de magnésio são fontes dos macronutrientes secundários Ca e Mg. Os corretivos da acidez do solo carbonato de cálcio, carbonato de magnésio, carbonato de cálcio e magnésio, hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio, hidróxido de cálcio e magnésio, óxido de cálcio, óxido de cálcio e magnésio, silicato de cálcio e silicato de cálcio e magnésio são, também, fontes de Ca e Mg.

O S é frequentemente fornecido através de fertilizantes contendo macronutrientes primários, como, por exemplo, sulfato de amônio, sulfato de potássio ou superfosfato simples, ou então via fertilizantes contendo enxofre elementar. O gesso, de origem natural ou industrial, fornece enxofre e cálcio para as plantas.

Óxidos, carbonatos e sais metálicos (sulfatos, cloretos e nitratos) são as fontes inorgânicas mais comuns de micronutrientes metálicos. Os sulfatos de cobre, manganês e zinco são muito usados via solo ou foliar. Já o FeSO_4 presta-se para pulverizações foliares. Os óxidos não são solúveis em água, porém podem ser aplicados e misturados ao solo na forma de pó. O B é um micronutriente solúvel no solo e, portanto, a aplicação de ácido bórico ou borato de sódio via solo é adequada para suprir a deficiência deste elemento. O Mo pode ser aplicado na forma de sais, como o heptamolibdato de amônio. Cl e Ni, apesar de serem reconhecidos como micronutrientes, não são considerados fertilizantes. O fornecimento de Cl para as plantas é feito através da água da chuva ou irrigação, ou pelos fertilizantes contendo Cl, como cloreto de potássio ou cloreto de cálcio. No caso do Ni, há poucas evidências sobre a efetividade de sua aplicação para as culturas.

10. FERTILIZAÇÃO BIOLÓGICA

O maior desafio da nutrição de plantas na atualidade é identificar as práticas de manejo de nutrientes apropriadas para assegurar sustentabilidade e aumento da produção agrícola. A poluição ambiental resultante da grande disponibilidade de nutrientes pode ser direta ou indireta. Diretamente, o uso incorreto ou excessivo de fertilizantes pode levar à lixiviação, volatilização, acidificação e desnitrificação. Indiretamente, a produção (uso de combustível fóssil no processo Haber-Bosh para a produção de fertilizantes nitrogenados) e o transporte (combustão de combustível fóssil) de fertilizantes podem resultar em poluição atmosférica.

Um componente essencial na sustentabilidade da agricultura é o manejo eficaz do N no meio ambiente. Isso geralmente envolve pelo menos algum uso do N derivado de um processo chamado Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN). A FBN é uma atividade realizada exclusivamente

por um número limitado de microrganismos, que são coletivamente chamados de fixadores de nitrogênio. Fixadores de nitrogênio catalisam a redução do nitrogênio atmosférico, N_2 , para NH_4^+ , que a seguir é disponibilizada para uma ampla gama de seres vivos: micróbios e plantas e, finalmente, para os animais. O nitrogênio derivado da FBN é menos suscetível às perdas causadas por volatilização, desnitrificação e lixiviação, já que está diretamente incorporado às moléculas orgânicas. No cenário agrícola, aproximadamente 80% do N_2 biologicamente fixado é proveniente da simbiose que inclui plantas leguminosas e espécies de *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* e outros gêneros relacionados. No geral, bactérias do solo que estabelecem simbiose fixadora de nitrogênio com plantas leguminosas são coletivamente chamadas *rhizobia*.

Ao contrário das grandes quantidades de energia fóssil usadas para a produção de fertilizantes nitrogenados minerais através do processo de Haber-Bosch (aproximadamente 1,5 kg de combustível fóssil para cada 1 kg de fertilizante produzido), a energia que impulsiona a FBN é proveniente da fotossíntese. Por essas razões, a FBN é um modo ambientalmente correto de fornecimento de N para os agroecossistemas.

Por sua vez, a fertilização biológica é uma das várias maneiras de fornecer nutrientes e promover o desenvolvimento das plantas. No Brasil, o termo ‘biofertilizante’ é associado a produtos líquidos de origem biológica utilizados para nutrição e proteção de plantas. Nesse capítulo, “Fertilizantes Biológicos” são definidos como “produtos que contém microrganismos vivos, que quando aplicados em sementes, superfícies de plantas ou do solo, colonizam a rizosfera ou o interior da planta e promovem o crescimento, aumentando o fornecimento ou a disponibilidade de nutrientes para a planta hospedeira”. Paralelamente, os fertilizantes biológicos podem reduzir a incidência de doenças ou melhorar as características do solo.

As bactérias rizosféricas que mostram capacidade de promover desenvolvimento da planta são coletivamente chamadas de RPCP (rizobactérias promotoras de crescimento de plantas). Além das bactérias, outros microrganismos, tais como espécies fúngicas, também podem atuar como fertilizantes biológicos ou agentes de biocontrole.

Os fertilizantes biológicos podem suplementar ou reduzir o uso de fertilizantes minerais, especialmente em relação ao N e P. Seus efeitos podem ser mais facilmente detectados e mensurados em plantas de ciclo curto, contudo, há um crescente interesse no uso de bactérias benéficas e fungos micorrízicos como inoculantes em viveiros de mudas de árvores, devido à repetida demonstração de estímulo ao desenvolvimento e também pelo fato da inoculação com biofertilizantes em mudas florestais, antes do plantio, não ser cara, ser ambientalmente favorável e de fácil aplicação em viveiros.

As cianobactérias, um grupo de bactérias fotossintéticas primeiramente conhecidas como algas verde-azuladas (AVA), constituem outro grupo de biofertilizantes. Elas são

encontradas em uma variedade de habitats aquáticos ou terrestres. Muitas, mas não todas, possuem capacidade de fixar N. De importância agrícola, com ênfase especial no cultivo de arroz, tem-se a associação simbiótica, mundialmente encontrada, entre a samambaia aquática *Azolla* com cianobactérias (*Anabaena azollae*).

Nesse capítulo abordam-se o conceito bastante conhecido de fertilidade e proteção microbiana do solo e a função crucial dos microrganismos nos ciclos biogeoquímicos do P e do N, e na reciclagem dos nutrientes do solo. Descrevem-se os microrganismos mais importantes usados como inoculantes nas práticas agrícolas. Fornecem-se informações sobre como os inoculantes microbianos são produzidos e avaliados (Figura 3), bem como sobre suas vantagens e limitações.

11. ASSOCIAÇÃO MICORRÍZICA E FERTILIDADE AGRÍCOLA

A produtividade agrícola é altamente dependente da qualidade do solo e da sustentabilidade dos recursos naturais. Do ponto de vista agrônomo, a “qualidade do solo” é

geralmente expressa como “a fertilidade do solo”, que define a capacidade de um determinado solo em prover a saúde das plantas e produtividade sustentável. Entretanto, a fertilidade agrícola é tanto determinada pela interação de componentes químicos, físicos e biológicos quanto modulada pelas condições climáticas e ambientais (Figura 4).

O componente biológico da fertilidade do solo baseia-se nas atividades das populações microbianas do solo, que são particularmente relevantes nos microsítios, da interface raiz-solo, conhecidas como rizosfera, onde os microrganismos interagem com as raízes das plantas e os constituintes do solo. Entre os componentes microbianos, a simbiose micorrízica arbuscular é reconhecida por melhorar o crescimento das plantas, a aquisição de nutrientes, as relações hídricas das plantas, a fitossanidade (como bioprotetores contra patógenos e estresses abióticos), bem como a qualidade do solo. Conseqüentemente, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) podem ser considerados como componentes-chave da fertilidade do solo, quer por si próprios ou em interações com outros microrganismos do solo, tendo uma denominação especial de micorrizosfera.

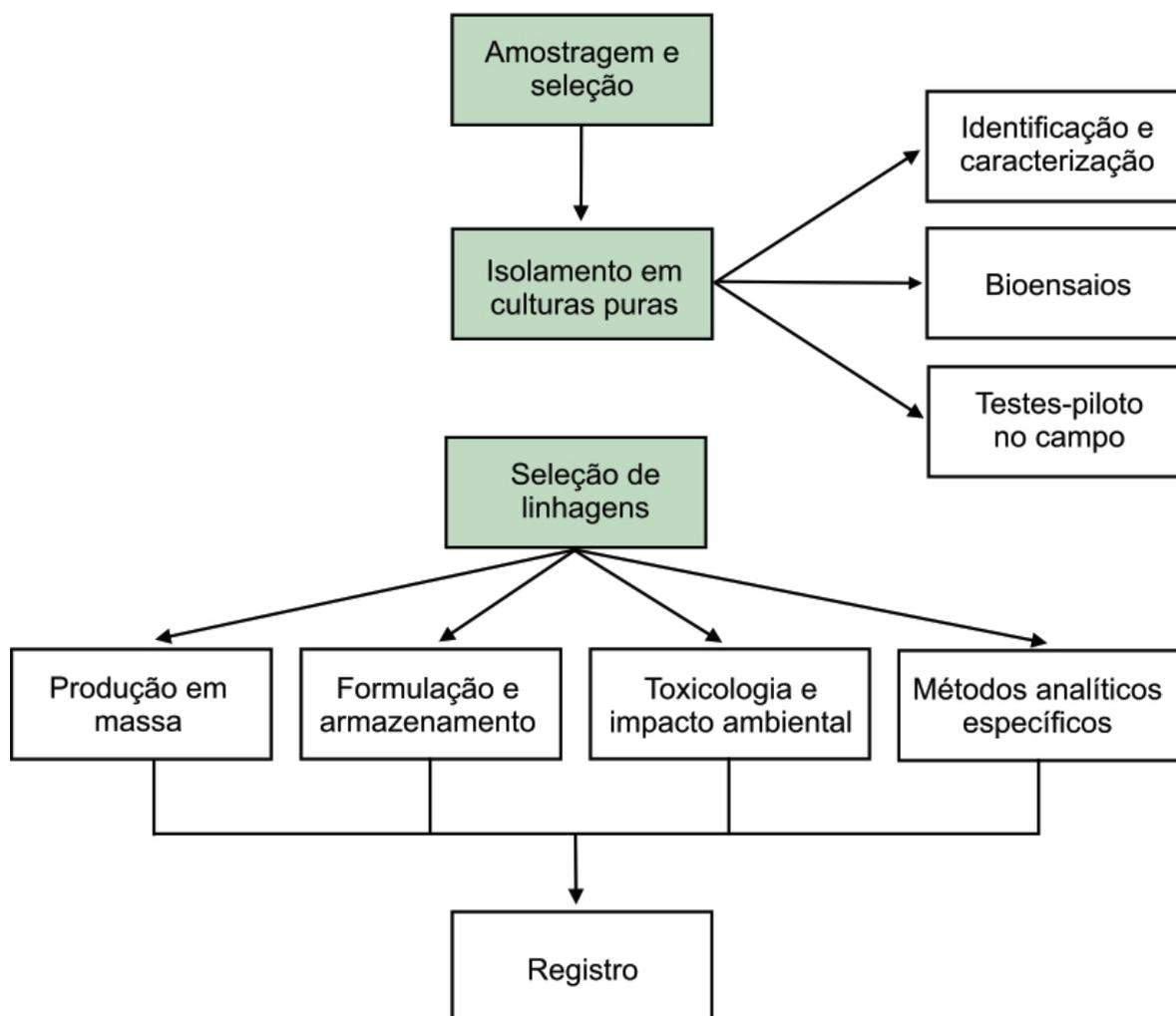


Figura 3. Procedimento geral para o desenvolvimento de inoculantes microbianos.

Fonte: Adaptada de Montesinos (2003).



Figura 4. Macrocomponentes da fertilidade agrícola.

Fonte: José-Miguel Barea, arquivo pessoal.

Assim, nesse capítulo, os objetivos são rever e integrar o conhecimento atual e o impacto dos FMA no funcionamento do sistema agrícola, com ênfase particular sobre: (i) seu papel na aquisição de P e outros nutrientes pela planta, isoladamente ou em interação com microrganismos promotores de crescimento vegetal – PGPR; (ii) sua importância em auxiliar o crescimento vegetal sob condições de estresses; e (iii) avaliar a possibilidade de usar esses fungos como ferramenta biotecnológica para a produção da agricultura sustentável e saudável.

12. QUELATOS E COMPLEXOS NA AGRICULTURA

Os agentes quelantes têm recebido uma enorme atenção devido à sua forte interação com os metais, e podem ser usados na agricultura para aumentar a disponibilidade e o transporte de vários nutrientes metálicos, incluindo Fe, Zn e Cu (Figura 5). Trabalhos recentes nessa área indicam um conjunto de quelatos adequados para tratar várias deficiências de micronutrientes em plantas. O elevado custo dos quelatos sintéticos ainda não os torna acessíveis para aplicação em culturas extensivas, porém os quelatos de ferro têm sido usados em culturas de alto valor agregado, como fruteiras e cultivos hidropônicos, e em pulverizações foliares.

O uso de quelatos de Fe para corrigir a clorose férrica é uma prática recomendada em culturas de elevado valor agregado cultivadas em solos calcários. A sua estabilidade pode ser afetada pelo pH elevado, competição do cálcio e processos de sorção. A porcentagem do quelato de ferro, que permanece em solução, após interação com solo calcá-

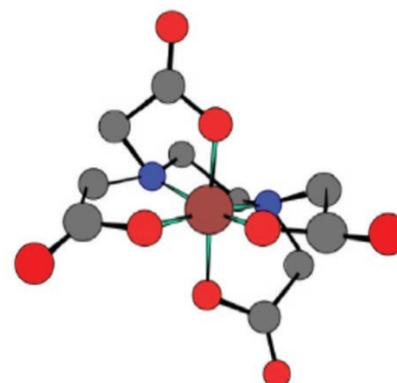


Figura 5. Representação espacial de um quelato formado entre um metal (cor magenta) e o agente quelante, EDTA.

rio, depende principalmente do agente quelante. Os quelatos fenólicos (EDDHA, EDDHSA e EDDHMA) mantêm mais de 60% do Fe quelatado após 50 dias de interação com o solo. No entanto, quelatos como Fe-EDTA e Fe-DTPA perdem cerca de 80% do seu Fe após cinco dias na presença de um solo corrigido.

Os quelatos fenólicos (do tipo EDDHA) são mais retidos por materiais orgânicos que os quelatos não-fenólicos. Diferentes argilas (montmorilonita e ilita), óxidos de Fe e carbonato de cálcio tendem a reagir mais com quelatos de EDTA do que com os quelatos de EDDHA.

O Fe-EDDHA é um dos quelatos mais comumente utilizados. Nele, o isômero Fe-o,o-EDDHA apresenta elevada estabilidade e eficácia a longo prazo, enquanto o isômero Fe-o,p-EDDHA apresenta menor estabilidade, mas um efeito rápido a curto prazo. Assim, é importante não só conhecer

a porcentagem de Fe complexado, mas também a proporção dos isômeros incluídos num determinado quelato de EDDHA comercial.

Os compostos Fe-HBED, Fe-EDDHA e Fe-EDDCHA apresentam também elevada estabilidade. Os dois últimos produtos são mais solúveis; desse modo, podem ser usados como fertilizantes líquidos.

No caso de culturas menos sensíveis à clorose, em solos com valores de pH inferiores a 7,0 ou em culturas irrigadas frequentemente por gotejamento com micronutrientes, podem ser utilizados quelatos menos estáveis, como é o caso do EDTA ou do DTPA.

Quando é necessário corrigir rapidamente uma situação de clorose, a pulverização foliar com sulfato de ferro (pode produzir queimadura nas folhas) ou, com uma solução de quelato de ferro pode ser efetuada. Recomenda-se uma dose de 6 g/L de sulfato de ferro ou de 1 g/L de quelato de ferro. Um agente tensoativo deve ser adicionado à solução para ajudar a adesão da calda às folhas. É preferível pulverizar durante a noite ou durante períodos de temperaturas baixas. Apesar da pulverização foliar produzir resultados rápidos, a correção é temporária, porque o Fe não se move para além do tecido onde foi pulverizado. Assim, após o tratamento, o novo crescimento poderá ser clorótico.

No caso dos complexos e agentes complexantes destacam-se os lignossulfonatos, humatos, ácidos orgânicos e aminoácidos. Os lignossulfonatos (LS) são produtos obtidos a partir da indústria de papel. Os LS são usados, entre outras finalidades, em fertilizantes como agentes de complexação de micronutrientes.

Os humatos (sais de ácidos húmicos) ou substâncias húmicas resultam de transformações biológicas e químicas de decomposição de plantas, de animais e de microrganismos realizados por microrganismos presentes no solo, originando macromoléculas com estrutura e composição variável a partir de resíduos orgânicos no solo. Os humatos podem ser separados em ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e húmina. Uma fração substancial da massa de ácidos húmicos é constituída por ácidos carboxílicos, responsáveis pela quelatação dos íons multivalentes de carga positiva (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} e a maioria dos outros micronutrientes catiônicos).

Os ácidos orgânicos citrato, gluconato e heptogluconato, embora sejam considerados produtos naturais, correspondem a moléculas com estrutura definida. Estes compostos formam complexos de baixa estabilidade comparativamente aos quelatos sintéticos. No entanto, alguns deles permanecem em solução em solo ácido e até mesmo a pH neutro. Estes compostos são recomendados principalmente para aplicações foliares ou em hidroponia, em que a sua eficácia pode ser suficiente para fornecer os micronutrientes a um custo mais reduzido, comparativamente aos quelatos sintéticos. Esta situação é verdadeira para Zn.

Os aminoácidos também tem sido reivindicados como agentes complexantes de metais. Entre os vários complexos metálicos atualmente comercializados, os aminoácidos não causam qualquer preocupação ambiental, uma vez que são de origem natural e são biodegradáveis. Eles são subprodutos de processos industriais, gerados em grandes quantidades, o que reduz o seu custo. Algumas moléculas naturais e sintéticas, com elevada capacidade de complexação, são derivadas de aminoácidos, como, por exemplo, sideróforos e fitosideróforos, e agentes quelantes, como o EDTA, o EDDHA e análogos. A capacidade de complexação dos aminoácidos é potencializada pela presença de grupos funcionais, tais como grupos amino, ácido carboxílico, fenol e, em alguns casos, grupos tiol. No estado sólido, os aminoácidos naturais são bons agentes quelantes, mas com algumas exceções, não são capazes de manter metais, como o Fe, solúveis a pH neutro ou alcalino. Polipeptídios curtos, quando da formação das ligações peptídicas, usam ambos os grupos amino e carboxilato nessas ligações, o que diminui o número de grupos disponíveis para a quelatização. Pelo contrário, polipeptídeos curtos contendo outros grupos doadores podem sofrer um melhor rearranjo espacial em torno do metal.

REFERÊNCIAS

- FAO. Food and Agriculture Organization. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture**. Rome, 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i1688e.pdf>. Acesso em 12 jun. 2020.
- LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley & Sons, 1979. 449 p.
- MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. Amsterdam: Elsevier, 2012. 651 p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic Press, 1987, 2001. 849 p.
- MONTESINOS, E. Development, registration and commercialization of microbial pesticides for plant protection. **International Microbiology**, Barcelona, v. 6, n. 4, p. 245-252, 2003.
- MOORBY, R.; BESFORD, R. T. Mineral nutrition and growth. In: LAUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. **Encyclopaedia of plant physiology, inorganic plant nutrition**. Part B. New York: Springer-Verlag, 1983. p. 481-527.
- ORMEÑO-ORRILLO, E.; HUNGRIA, M.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. Dinitrogen-fixing prokaryotes. In: ROSEMBERG, E.; DE LONG, E.F.; LORY, S.; STACKEBRANDT, E.; THOMPSON, F. (Ed.). **The Prokaryotes – Prokaryotic physiology and biochemistry**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. p. 427-451.

ADUBAÇÃO FOSFATADA COM FERTILIZANTE ORGANOMINERAL EM CULTIVO DE MILHO EM NITOSSOLO VERMELHO COM ELEVADO TEOR DE FÓSFORO

GROHSKOPF, M. A.^{1*}; CORRÊA, J. C.²; FERNANDES, D. M.¹; BENITES, V. de M.³; TEIXEIRA, P. C.³; CRUZ, C. V.¹
Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 54, e00434, 2019.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o teor nutricional e a produtividade de grãos de três cultivos de milho (*Zea mays*) em resposta à adubação fosfatada com fertilizante organomineral à base de cama de aves ou mineral, quando cultivado em Nitossolo Vermelho Distroférico com elevado teor inicial de fósforo.

O experimento foi conduzido em campo, em delineamento de blocos ao acaso, em arranjo fatorial 2×4+1 (fertilizantes organomineral ou mineral × 20, 40, 60 ou 80 kg ha⁻¹ de P + controle sem adubação fosfatada), com quatro repetições cada um. Foram determinados os teores de P disponível e carbono orgânico total no solo ao final do ciclo da cultura, os teores de P no tecido vegetal e a produ-

tividade de grãos. O índice de eficiência agrônômica (IEA) foi estimado com base na produtividade de grãos.

Resultados:

- Após três safras, os teores de P disponível e de carbono orgânico total no solo não aumentaram significativamente com o uso dos fertilizantes, mas apresentaram relação direta com as doses de P;
- Em um Nitossolo Vermelho Distroférico com elevado teor inicial de P, o uso de fertilizante organomineral à base de cama de aves proporcionou maior produtividade de milho, com IEA 20% superior ao do fertilizante mineral (Figura 1).

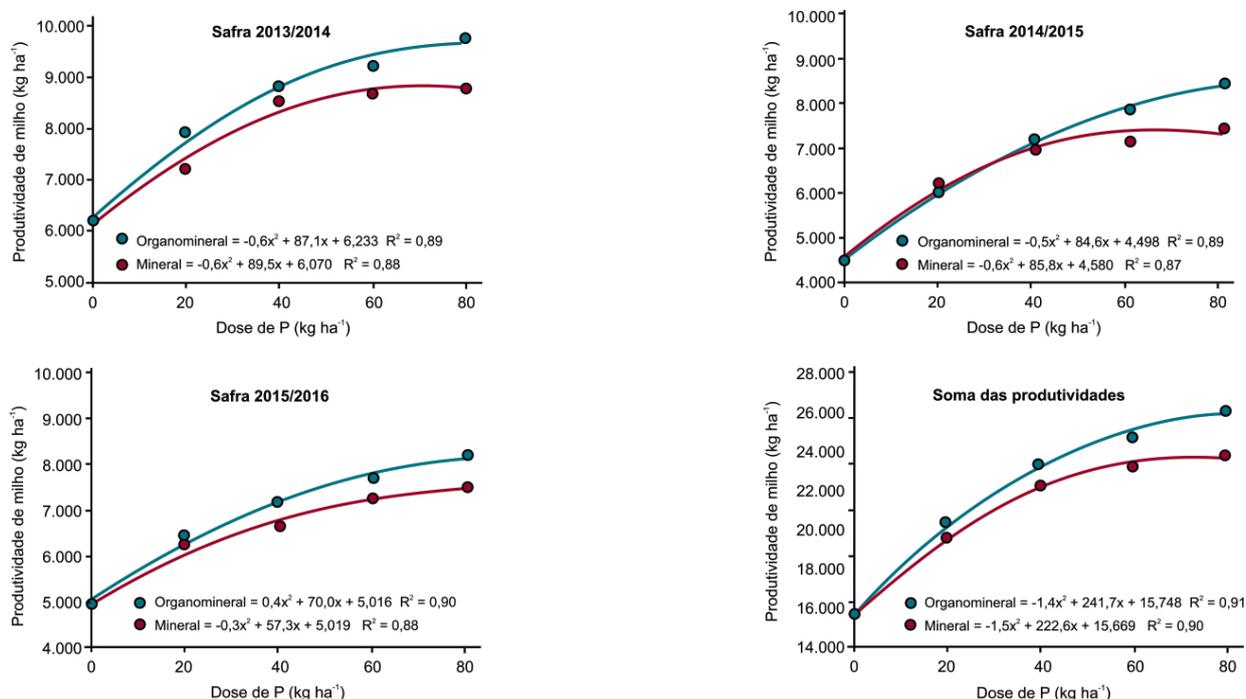


Figura 1. Produtividade de milho obtida em três safras, 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016, quando cultivado em solo Nitossolo Vermelho Distroférico com alto teor de fósforo (fertilidade construída). Média de 4 repetições.

¹ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Botucatu, Botucatu, SP; email: marcogrohskopf@gmail.com

² Embrapa Suínos e Aves, BR-153, km 110, Distrito de Tamanduá, Concórdia, SC.

⁴ Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, n. 1.024, Rio de Janeiro, RJ.

BIOESTIMULANTE NANOTECNOLÓGICO MELHORA O DESENVOLVIMENTO DE HORTALIÇAS

Trabalho de pesquisa multidisciplinar envolvendo pesquisadores da Embrapa Hortaliças (DF) e alunos e professores da Universidade de Brasília (UnB) originou o bioestimulante KrillTech. O produto é constituído de nanopartículas carbônicas contendo grupos funcionais que podem atuar como carreadores de nutrientes para as plantas, e passou por testes agrônômicos que comprovaram a sua eficiência nos cultivos de pimentões, tomates e alfaces, estas últimas em sistema de hidroponia. O nanoproduto eleva a taxa de fotossíntese e otimiza o aproveitamento de água e o uso de nutrientes pelas plantas.

De acordo com Juscimar da Silva, pesquisador da Embrapa, da área de Solos e Nutrição de Plantas, o Krill A32 atua também como fertilizante, ao ofertar macros e micronutrientes necessários para o crescimento dos vegetais, como nitrogênio, fósforo, potássio, ferro e zinco, por exemplo. “Como se trata de uma nanopartícula contendo grupamentos funcionais (cargas elétricas de superfície) é possível incorporar elementos químicos de importância nutricional à sua matriz, e que serão carreados para dentro da planta, o que permite avançar em estudos de biofortificação de pulses, por exemplo, ou seja, enriquecer o produto com minerais para promover a nutrição da planta e que poderão ser aproveitados pelos consumidores”, explica Silva.

Ele aponta como vantagem o fato de o produto ser compatível com outros fertilizantes e agroquímicos, o que permite sua aplicação conjunta, evitando a reentrada de pulverizadores agrícolas na área, o que impactaria nos custos de produção. Outra vantagem, segundo o pesquisador, é a possibilidade de aplicação via solo, ou até mesmo na água, no caso de cultivos hidropônicos.

Silva também cita a forma em pó do produto como uma de suas grandes vantagens. “Por ser utilizado em pequenas quantidades, essa composição facilita o manuseio e o transporte, mesmo em uma grande extensão de área”. Além dessa, existe outra característica extremamente importante do Krill A32 para a área de pesquisa. “Quando exposta a luzes ultravioletas, a nanopartícula emite luz com tonalidade azul ou até vermelha, permitindo o rastreamento do produto dentro da planta, a sua distribuição e identificar se o produto foi realmente aplicado ou não”, ou seja, ele serve também como um biomarcador fácil de ser rastreado e, portanto, bastante útil em estudos científicos. (EMBRAPA Notícias)



NOVA FERRAMENTA APRIMORA O DESEMPENHO DA LAVOURA E OTIMIZA O USO DA ÁGUA

Uma nova tecnologia vai ajudar produtores e técnicos a avaliar a qualidade do sistema de plantio direto irrigado. O Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto para Condições de Irrigação por Pivô Central (IQPi) foi desenvolvido pela Rede de Pesquisa SoloVivo, no âmbito do convênio Embrapa-Itaipu Binacional.

“A aplicação do IQPi é simples e rápida, permitindo uma autoavaliação pelo produtor ou técnico da assistência rural. É um teste de perguntas e respostas, com atribuição de notas de excelente a muito ruim, que caracterizam a condição do manejo das glebas na propriedade”, explica Priscila de Oliveira, pesquisadora da Embrapa e uma das autoras do Índice. Mas há necessidade de o produtor ter um registro histórico da gleba a ser avaliada

e saber quais espécies foram cultivadas nos últimos três anos, com os respectivos meses de semeadura e colheita, além de outros registros para o mesmo período, como evidências de erosão, transbordamento nos terraços e outros. O IQPi apresenta nove indicadores, dos quais apenas os que avaliam o manejo da irrigação requerem um pouco mais de conhecimento técnico para serem eficientes na melhoria do uso do recurso hídrico e para a conservação do solo. São contemplados parâmetros da irrigação, como balanço hídrico e manutenção periódica do pivô central.



O propósito é que o produtor use o IQPi ao longo do tempo, de forma que desenvolva um processo de melhoria contínua no sistema produtivo com eficiência no uso da água pela identificação de pontos críticos no manejo. A avaliação pode ser estendida a toda a propriedade rural, sendo considerada até mesmo no âmbito de uma microbacia hidrográfica se, nas áreas de sua influência hídrica, os produtores adotarem esse mesmo instrumento de gestão.

O propósito é que o produtor use o IQPi ao longo do tempo, de forma que desenvolva um processo de melhoria contínua no sistema produtivo com eficiência no uso da água pela identificação de pontos críticos no manejo. A avaliação pode ser estendida a toda a propriedade rural, sendo considerada até mesmo no âmbito de uma microbacia hidrográfica se, nas áreas de sua influência hídrica, os produtores adotarem esse mesmo instrumento de gestão.

“O hábito de avaliar a condução do sistema plantio direto, especialmente o irrigado, traz um ganho enorme para a agricultura nacional. Fazendo uso do IQPi, o produtor incorpora um importante benefício: a administração das glebas ou dos talhões da propriedade, podendo, a partir daí, tomar as decisões mais acertadas em relação ao manejo adotado”, ressalta o pesquisador da Embrapa Luis Carlos Hernani, desenvolvedor do IQPi. (EMBRAPA Notícias)

CURSOS, SIMPÓSIOS E OUTROS EVENTOS

Face à atual situação que se encontra o país devido ao coronavírus, a data desses eventos pode ter sido remarçada. Caso haja interesse em participar de algum evento, favor confirmar a data da realização do mesmo junto ao setor de informações de cada entidade.

1. FERTBIO 2020

Local: Centro de Convenções da UFAC, Rio Branco, AC

Data: 10 e 14/OUTUBRO/2020

Informações: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Email: sbcs@sbcs.org.br

Website: <https://www.sbcs.org.br>

2. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS – XII CBSAF

Local: Central de Aulas e Jumbão, ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11, Piracicaba, SP

Data: 12 a 17/OUTUBRO/2020

Informações: FEALQ

Email: cdt@fealq.com.br

Website: <https://fealq.org.br>

3. 5º CONGRESSO DAS MULHERES DO AGRONEGÓCIO - CNMA (webconferência)

Local: Transamérica Expo Center, São Paulo, SP

Data: 26 a 29/OUTUBRO/2020

Informações: Equipe CNMA

Email: contato@mulheresdoagro.com.br

Website: <https://www.mulheresdoagro.com.br>

4. III BORON DAY BRAZIL

Local: Viale Cataratas Hotel e Eventos, Foz do Iguaçu, PR

Data: 29/OUTUBRO/2020

Informações: GAPE

Email: boronday2020@gmail.com

Website: <https://www.borondaybr.com>

5. 7º SIMPÓSIO DE SEGURANÇA ALIMENTAR

Local: Rua Herny Hugo Dreher, 197, Planalto, Bento Gonçalves, RS

Data: 29 a 31/OUTUBRO/2020

Informações: Office Eventos

Email: ssa@officeeventos.com.br

Website: <https://www.ufrgs.br/sbctars-eventos/ssa7>

6. XII ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS (webconferência)

Data: 20 a 23/OUTUBRO/2020

Informações: Elaine Abramides

Email: eabramides@gmail.com

Website: <http://www.ensub.com.br>

7. FÓRUM RIO + AGRO: INOVAÇÕES E NEGÓCIOS AGROPECUÁRIA

Local: Armazém 2 e 3 do Pier Mauá, Porto Maravilha, Rio de Janeiro, RJ

Data: 2 a 6/NOVEMBRO/2020

Informações: Ademir Almeida

Email: ademir@improve-projects.com

Website: <https://www.riomaisagro.com.br>

8. XIII REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - Evento on line

Local: Porto Alegre, RS

Data: 26 e 27/NOVEMBRO/2020

Informações: SBSCS

Email: sbcs@sbcs.org.br

Website: <https://www.sbcs.org.br>

9. 17º ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA

Local: Centro de Convenções da Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS

Data: 1 a 3/DEZEMBRO/2020

Informações: FB Eventos

Email: enpdp2020@fbeatos.com

Website: <https://febrapdp.org.br/17enpdp>

10. 43ª REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL

Local: Centro de Convenções da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS

Data: 3 a 5/DEZEMBRO/2020

Informações: Prof. Thomas Martin

Email: coxilhaufsm@gmail.com

Website: <https://www.ufsm.br>

PUBLICAÇÕES RECENTES

1. ADOÇÃO DE SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (ILPF) EM SÃO PAULO

(Embrapa Pecuária Sudeste. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 47)

Autores: Vinholis, M. de M. B. et al.; 2020.

Conteúdo: Metodologia; Resultados: características do produtor rural, características da propriedade rural, características do sistema de produção, acesso à informação, recursos financeiros, percepção sobre os sistemas de integração, demandas em sistemas de integração, expectativa de continuidade e de novas adoções.

Preço: gratuito para *download*

Número de páginas: 56

Editora: Embrapa Pecuária Sudeste

Website: <http://www.embrapa.br>

2. CULTIVO DO MARACUJÁ-AMARELO EM ÁREAS COM OCORRÊNCIA DO VÍRUS DO ENDURECIMENTO DOS FRUTOS (CABMV)

Autores: Stenzel, N. M. C. et al., 2019.

Conteúdo: Sintomas de CABMV em maracujá-amarelo; modelo de um ciclo de produção; produção de mudas; disseminação da doença; época de produção e produtividade; etapas do modelo de um ciclo de produção; análise econômica.

Preço: gratuito para *download*

Número de páginas: 29

Editora: IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná

Website: <http://www.iapar.br>

3. CHINA-BRAZIL PARTNERSHIP ON AGRICULTURE AND FOOD SECURITY

Editores: Jank, M.S.; Guo, P.; Miranda, S. H. G., 2020.

Conteúdo: Redigido em inglês, o livro tem 12 capítulos, e traz um panorama completo sobre as relações Brasil-China no agronegócio, cobrindo a história recente do setor agroalimentar nos dois países, as experiências de maior sucesso e análises detalhadas sobre temas-chave da relação bilateral no agro, como comércio, infraestrutura, investimentos, inovação, bioenergia, sustentabilidade e outros.

Preço: gratuito para *download*

Número de páginas: 428

Editora: ESALQ/USP

Website: <http://www.esalq.usp.br>

4. METODOLOGIA PARA ESPACIALIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS DA EMBRAPA

Autores: Pinto, D. M. et al.; 2019.

Conteúdo: Inteligência territorial aplicada ao processo de transferência de tecnologias no Geoweb Matopiba; a metodologia para espacialização das tecnologias da Embrapa.

Preço: gratuito para *download*

Número de páginas: 24

Editora: Embrapa Territorial

Website: <https://www.embrapa.br/territorial>

5. PEDOLOGIA, FERTILIDADE, ÁGUA E PLANTA: INTER-RELAÇÕES E APLICAÇÕES

Editores: Resende, M. et al.; 2019.

Conteúdo: O solo como corpo natural; características da terra relacionadas com a fertilidade do solo; classes de solo e fertilidade do solo: considerações gerais; solos não hidromórficos com argila de CTC variável e saturação por bases predominantemente baixa; solos não hidromórficos com argila de CTC variável e saturação por bases alta; solos imperfeitamente ou mal drenados; solos mal ou muito mal drenados.

Preço: R\$ 68,00

Número de páginas: 254

Editora: UFV - Universidade Federal de Viçosa

Website: www.editoraufv.com.br

6. ADUBAÇÃO NA AGRICULTURA ECOLÓGICA - CÁLCULO E RECOMENDAÇÃO NUMA ABORDAGEM SIMPLIFICADA

Autores: Silvio Roberto Penteado; 2019.

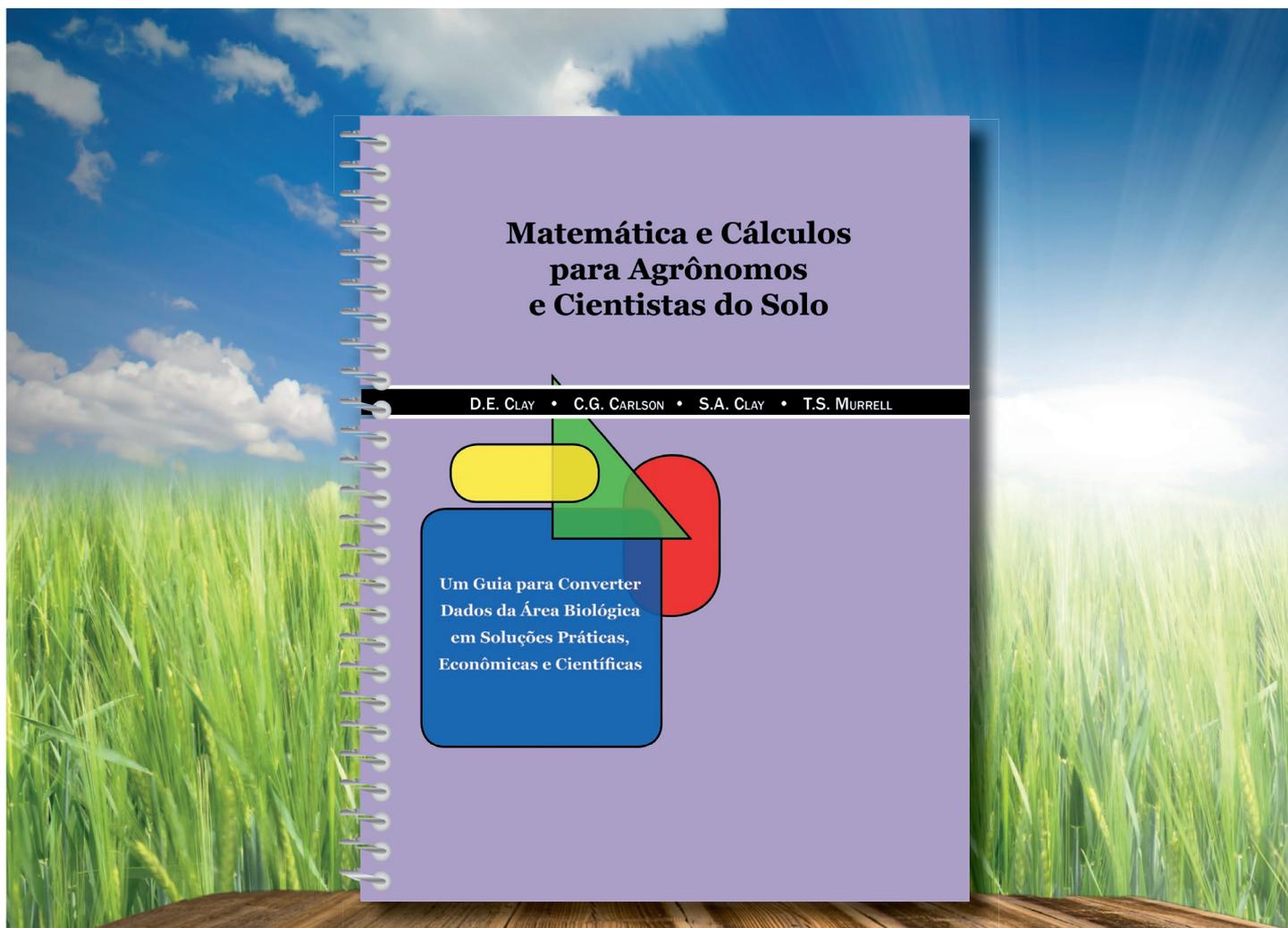
Conteúdo: Essa publicação apresenta as principais formas de adubação e nutrição em uma propriedade ecológica e orgânica, além de apresentar os processos de produção de adubos orgânicos e cálculos de adubação. É uma publicação indispensável para o agricultor ecológico, pois demonstra passo a passo, de maneira simples e prática, como é feito o aproveitamento de todos os resíduos orgânicos, produzindo adubos de elevada qualidade, como compostos orgânicos, bokashi, boyodo, biofertilizantes e outros, na propriedade, com baixo custo.

Preço: R\$ 86,00

Número de páginas: 184

Editora: Via Orgânica UFPR/PPG

Website: <http://www.viaorganica.com.br>



Autores: E.E. Clay; C.G. Carlson; S.A. Clay; T.S. Murrell; 2019.

Conteúdo: Este livro serve de literatura básica para aqueles que necessitam de auxílio no entendimento e resolução de problemas envolvendo as diferentes atividades relacionadas à Agronomia, como, por exemplo, emprego correto de unidades de medida; cálculos envolvendo fertilizantes; remoção de nutrientes do solo; aplicação de defensivos agrícolas; taxas de semeadura e população de plantas; armazenamento de forragem e grãos; correção da acidez, sodicidade e salinidade do solo; estimativa de custo de produção, entre outras.

Uma importante característica desta obra é apresentar, em cada capítulo, vários exercícios envolvendo situações reais e que ajudam o leitor na solução dos problemas apresentados.

Preço: R\$ 150,00

Número de páginas: 245

Pedidos: NPCT

Website: <https://loja.npct.com.br>

VALORIZAÇÃO DA CIÊNCIA E DOS PROFISSIONAIS DA AGRONOMIA

Luís Ignácio Prochnow

Vivemos em um mundo com ampla oferta de serviços e produtos. E na agricultura não é diferente. Cada vez mais, novas alternativas têm surgido no campo, que disputam a atenção do agricultor devido às suas viabilidades técnicas e econômicas. Sabe-se, entretanto, que muitas dessas tecnologias têm cunho eminentemente empírico e não foram submetidas à experimentação científica. Nesse cenário, como se preparar para selecionar as tecnologias que realmente valem a pena? Como se posicionar em um mercado cada vez mais abrangente e inovador? Como fazer as melhores escolhas?

As respostas a essas perguntas parecem relativamente simples. Contudo, sabe-se que o sucesso só será possível se as decisões forem tomadas com base em evidências científicas, fornecidas por instituições e profissionais fidedignos. Mas como selecionar as tecnologias validadas com o rigor científico daquelas que carecem de fundamentação científica ou mesmo oriundas da pseudo-ciência¹?

¹ Conjunto de técnicas e dados que se auto-denominam científicas, mas que não seguem os princípios básicos da metodologia que deve ser adotada para este fim.

É preciso ter em mente que não é tão simples interpretar os dados fornecidos pela pesquisa. Métodos e análises complexas são utilizados para se tomar decisões e fundamentar o estudo com conclusões precisas. Além disso, os dados devem ser interpretados de acordo com as condições nas quais a tecnologia será aplicada. Dessa forma, para que o agricultor se desenvolva e acompanhe a evolução do setor rural, é fundamental contar com a consultoria de profissionais que possam transferir e adaptar o que há de melhor na pesquisa para as condições específicas de sua propriedade, o que vai aumentar consideravelmente a chance de sucesso na sua empresa.

Tenho recomendado, com insistência, que os agricultores invistam em profissionais competentes como parceiros nas suas propriedades. Além disso, tenho recomendado que eles se reúnam em grupos associativos para poderem patrocinar a pesquisa agrônômica local de qualidade. Agricultores organizados facilitam também o trabalho da própria pesquisa para a identificação de demandas insatisfeitas e potenciais. O ideal é que os responsáveis pelas pesquisas locais sejam aqueles a indicar o que existe de melhor para cada propriedade.

Faço uma sugestão aos agricultores para que procurem se associar a técnicos e agrônomos qualificados e valorizem estes profissionais. Se os profissionais corretos forem contratados, com certeza o retorno do investimento será sempre muito positivo.



**Nutrição de Plantas
Ciência e Tecnologia**

NUTRIÇÃO DE PLANTAS CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Avenida Independência, nº 350, Edifício Primus Center, sala 141A

Fone/Fax: (19) 3433-3254 - CEP 13419-160 - Piracicaba (SP) - Brasil

LUÍS IGNÁCIO PROCHNOW - Diretor Geral, Engº Agrº, Doutor em Agronomia
E-mail: LProchnow@npct.com.br

EVANDRO LUÍS LAVORENTI - Diretor de TI, Analista de Sistemas
E-mail: ELavorenti@npct.com.br