

Síndrome das raízes atrofiadas III

A terceira causa que pode provocar a redução da produtividade das lavouras de soja no Brasil é analisada neste artigo: o glifosato.

Tsuioshi Yamada*

Toxidez de glifosato

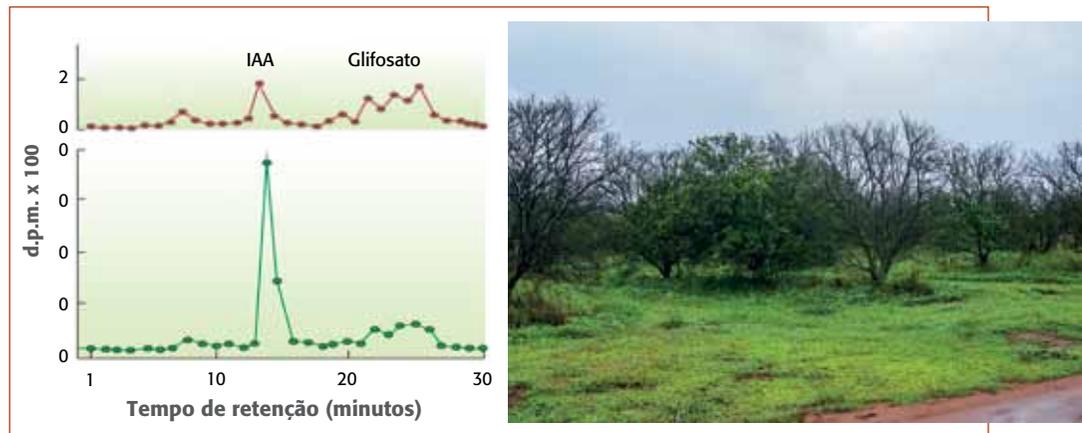
Iniciei esta série de artigos publicados na **Agro DBO** afirmando acreditar que o principal problema que afeta a produtividade da soja é o mau desenvolvimento do sistema radicular da cultura que, devido a sua ocorrência tão generalizada, denominei de Síndrome das Raízes Atrofiadas. E que, excetuando-se à compactação do solo, três causas químicas – isolada ou simultaneamente – podem contribuir para tal: toxidez de alumínio, deficiência de boro e toxidez de glifosato. A terceira causa – toxidez de glifosato – será o objetivo do presente artigo.

Caracterização da síndrome das raízes atrofiadas

Coletar aleatoriamente 100 plantas em um talhão da propriedade e calcular a porcentagem de plantas sem raiz pivotante bem definida e desenvolvida. O valor observado é o índice de raízes atrofiadas (IRA), expresso em porcentagem. Tenho observado valores que giram entre 70% a 80% de plantas com raízes atrofiadas. Na falta de melhor definição considero importante tomar medidas corretivas quando o índice de raízes atrofiadas for maior que 30% (IRA > 30%).

Transferência do glifosato da planta-alvo para a planta-não alvo

Trabalhando desde 2000 com o manejo de citros, suspeitei que a síndrome da morte súbita poderia ser consequência do efeito tóxico do glifosato utilizado no controle do mato. Isto porque sabia que o glifosato



inibe a síntese de ácido indolacético (AIA) (Lee, T.T., 1982. *Physiologia Plantarum*, 54:289-294) e, assim, poderia reduzir o crescimento vegetativo, típico da morte súbita, doença que culmina com o secamento completo da planta (Figura 1).

Vários testes realizados com soja e feijão consolidaram a suspeita de que o glifosato estava sendo transferido da planta-alvo (mato), e mesmo do solo, para a planta-não alvo (cultura econômica), conforme Figura 2.

O fato que apresento a seguir foi constatado em uma área de cerca de 20 hectares cultivada com pinus, em Uberlândia (MG), que, após ser erradicada para plantio de soja convencional, cultivar Conquista, teve uma metade semeada com milho, posteriormente manejada com glifosato em pré-emergência da soja, e a outra metade conduzida sob sistema de manejo convencional. Observei que, na área manejada com glifosato, havia acamamento de plantas e estas apresentavam raízes atrofiadas, o que não ocorria com as plantas cultivadas em sistema de manejo convencional (Figura 3). Esse efeito se refletiu na produtividade da soja, com aumento

de 10,4 sc ha⁻¹ em favor da soja cultivada sob sistema convencional.

Estudo realizado por Bott, da equipe do saudoso professor Römheld, da Universidade de Hohenheim, Stuttgart (Alemanha), mostrou que o glifosato adsorvido às argilas pode ser desorvido (ou liberado) para a solução do solo por ação de fertilizantes fosfatados ácidos, tais como superfosfato triplo, MAP ou DAP, e, assim, afetar o crescimento das raízes, como pode ser observado na Figura 4. Nota-se que nos tratamentos sem adição de fósforo praticamente não houve diferença no desenvolvimento radicular das plântulas, tanto na ausência como na presença de glifosato no solo. No entanto, com a adição de doses crescentes de P apareceram danos crescentes nas raízes. Apesar de esse resultado ter sido obtido em laboratório, é possível que o fenômeno possa ocorrer também em condições de campo, principalmente nos solos arenosos e com o uso de fontes de P ácido aplicadas próximo ao sulco de semeadura.

Esses fatos me deixaram preocupado, por saber que efeitos deleté-

Figura 1. Efeito do glifosato na síntese de AIA e citros com a síndrome da morte súbita.

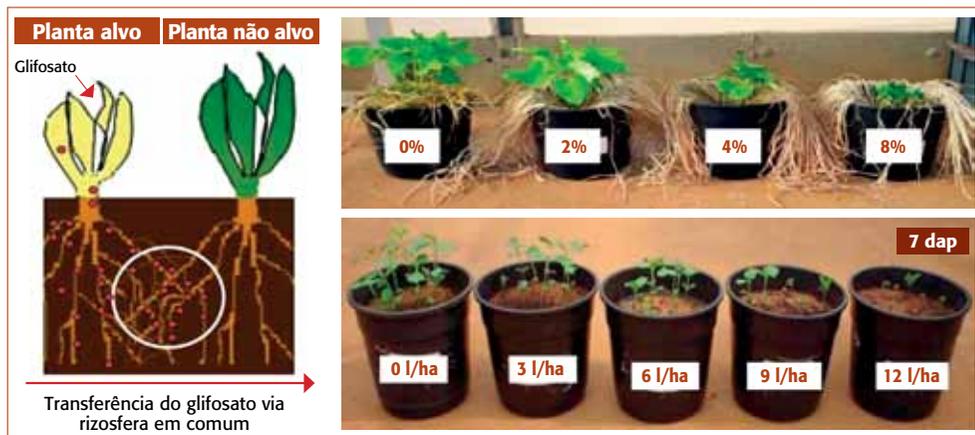
* O autor é doutor em engenharia agrônômica, e tem um site: www.agrinature.com.br

rios estavam ocorrendo nas plantas, e ao mesmo tempo desolado, por não saber como neutralizá-los. Felizmente, por uma série de acontecimentos fortuitos, finalmente pude conseguir uma explicação satisfatória para a causa destes danos e de como saná-los.

Neutralização dos efeitos tóxicos do glifosato

A primeira pista para a explicação desse fenômeno eu obtive ao ler o último artigo do professor Malavolta, publicado na revista Better Crops, do IPNI (EUA), em 2007. Nesse artigo, havia uma foto de árvore pecã com deficiência nutricional atribuída ao elemento níquel, que foi corrigida por meio de pulverização foliar com sulfato de níquel. Minha suspeita era que se tratava de toxidez de glifosato, e não de deficiência de níquel. Em viagem aos EUA visitei o autor da foto, Dr. Bruce Wood (USDA, Byron, Geórgia – EUA) e conheci sua estação experimental. Na oportunidade, pude constatar que minha suspeita era real: muitas plantas do local estavam contaminadas pelo glifosato. Posteriormente, por meu convite, Dr. Wood esteve no Brasil, onde visitou cafezais com sintomas de intoxicação de glifosato e, de pronto, afirmou que os sintomas eram semelhantes aos da deficiência de níquel (Figura 5). Naquele momento, encerrava-se minha busca de anos, ao entender que danos causados pelo glifosato poderiam ser neutralizados com pulverizações de níquel. Isto ocorreu dois meses antes de minha aposentadoria.

Após minha aposentadoria, em novembro de 2007, tive um ano sabático para decidir minhas atividades futuras. Em 2009 iniciei o curso de graduação em nutrição humana, pois tinha como objetivo estudar os efeitos do glifosato na saúde humana. Mas em meados de 2009 desisti do curso, pois me decepcionei com a qualidade de alguns professores e a precariedade dos laboratórios. Mas o principal motivo desta desistência foi o desejo de testar os efeitos do



níquel nas culturas. A partir daí tive a felicidade de estabelecer parceria com uma empresa especializada na produção de fosfito, a qual tinha uma equipe química com excepcional nível de conhecimento. Juntos, rapidamente desenvolvemos formulações foliares de fosfitos acompanhados dos cátions Ni, Mn, Zn, Cu e Mg. Estes produtos foram testados em pomares cítricos e em cafezais, com resultados impressionantes. Da mesma forma, foram realizados testes com soja e milho.

Esta atividade foi desenvolvida até 2015, período de grande aprendizagem, com muitos testes de campo e visitas às lavouras onde estes produtos foram aplicados.

O que mais me surpreendeu foi constatar que, em geral, tanto as culturas de soja RR, como as convencionais, estão com sistema radicular atrofiado, muito danificado. Minha estimativa (grosseira) é que, atualmente, apenas 30% das lavouras de soja RR têm raízes saudáveis, vigorosas e profundas.



Figura 2. À esquerda: mecanismo de transferência do glifosato da planta-alvo para a planta-não alvo; à direita e acima: transferência de glifosato em doses crescentes – aplicado em desseque e plante – da braquiária para o feijoeiro; e à direita e abaixo: transferência de glifosato do solo para a soja, semeada um dia após a aplicação do glifosato no solo.

Figura 3. Sistema radicular da soja Conquista sob dois sistemas de manejo: plantio convencional (à esquerda) e plantio direto com glifosato (à direita).

T. Yamada, 13/03/2007

O que estaria prejudicando o desenvolvimento radicular das culturas?

A resposta mais provável seria a compactação do solo. Porém, acredito mais nas causas químicas que impedem o enraizamento: deficiência de boro, toxidez de alumínio e toxidez de glifosato, pois todas elas levam à menor síntese de AIA – hormônio fundamental para o crescimento de raízes. Os papéis do B e do Al na síntese de AIA já foram explicados nos artigos anteriores publicados aqui na **Agro DBO**. Já em relação ao glifosato, minha hipótese seria a de que o níquel atua como catalisador na síntese de AIA a partir do triptofano formado pela via do ácido chiquímico (Figura 6) e, assim, a sua alta reatividade com o glifosato (Tabela 1) poderia causar a sua deficiência.

Portanto, o crescimento exuberante observado por Bruce Wood em pecã, assim como por mim em café, citros, soja e algodão, poderia ser explicado pela maior produção de AIA, resultante da adubação foliar com Ni.

Chamo atenção também para o cobre – o segundo nutriente que apresenta maior probabilidade de ser complexado pelo glifosato –, pois sua deficiência pode comprometer a resistência da planta contra doenças.

Em 2013, no 17º Colóquio Internacional de Nutrição de Plantas, em Istambul, tive a prova definitiva de que o glifosato pode causar deficiência de níquel nas plantas.

Produtividade

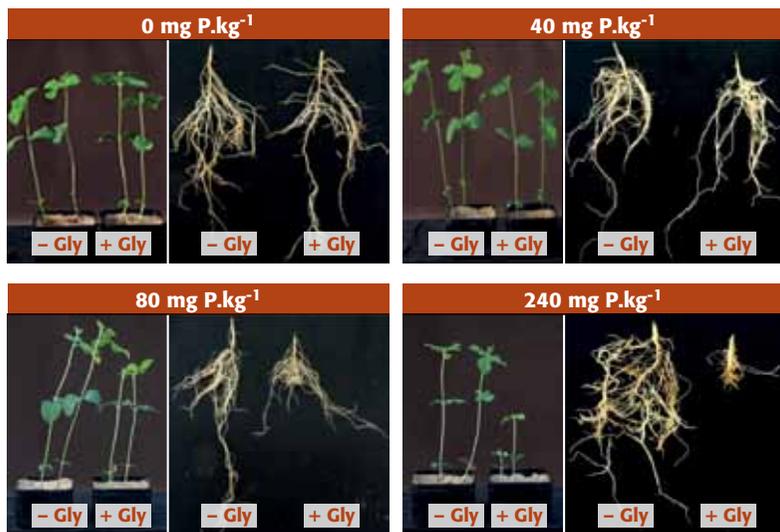


Figura 4. Efeito da dessecção de glifosato por doses crescentes de fósforo no desenvolvimento da parte aérea e raízes de soja convencional.

Em trabalho desenvolvido pela equipe do professor Ismail Cakmak, da Universidade Sabanci (Turquia – J. Agric. Food Chem. 2013, 61, 8364–8372) –, plântulas de trigo (não RR) receberam doses equivalentes a 0,5% e 1,0% da dose letal de glifosato, acompanhadas ou não da aplicação foliar de níquel. Observou-se que o efeito negativo do glifosato sobre o desenvolvimento das plantas de trigo diminuiu com a aplicação de Ni foliar (Figura 7).

Posteriormente, as sementes colhidas no experimento foram submetidas ao teste de germinação e vigor, mostrando que o efeito do glifosato permaneceu nas mesmas, acarretando menor porcentagem de germinação e menor altura dos se-

dlings, quando comparadas ao tratamento sem glifosato. Na Tabela 2 observa-se que as sementes originadas de plantas que foram submetidas à aplicação de glifosato acompanhada da aplicação foliar de níquel apresentaram respostas quase similares às da testemunha.

Acredito que esta informação seja de grande importância para os produtores de sementes de soja, considerando que o níquel é mais exigido pelas leguminosas do que pelas gramíneas, conforme apresentado na Tabela 3. Isto também se aplica ao nutriente molibdênio.

A aplicação foliar de produtos à base de fosfitos com Ni, Mn, Zn e Cu na cultura da soja, mostrou-se efetiva na diminuição da incidên-

Tudo começou com esta foto: deficiência de Ni ou toxidez de glifosato?



Foto que ilustrou artigo do Prof. Malavolta sobre Ni. Suspeitei que a resposta ao Ni, seria na verdade resposta à toxidez de glifosato. Aproveitando de uma viagem aos EUA, visitei a estação experimental do USDA em Byron-GA, onde a pesquisa foi realizada.



Estou 99% convencido que estes sintomas são de deficiência de Ni

Figura 5. À esquerda, planta de pecã que recebeu pulverização de níquel apenas nos galhos do lado direito, com respostas visíveis após 14 dias. À direita, comentário do Dr. Bruce Wood para os sintomas de toxidez de glifosato em cafeeiro.

cia de raízes mal formadas, quando comparada ao tratamento sem a aplicação desses produtos (Figura 8). Esse resultado positivo foi devido principalmente ao Ni, pois os outros micronutrientes eram normalmente utilizados.

Funções do níquel nas plantas

O principal papel do níquel nas plantas é o de catalisador de muitas enzimas, como: urease, superóxido dismutase, [NiFe] hidrogenases, metil coenzima M reductase, monóxido carbono dehidrogenase e acetil coenzima A sintase.

Além disso, muitas proteínas e peptídeos (cerca de 500) estão unidas ao Ni. O Ni afeta a atividade de enzimas críticas em rotas bioquímicas fundamentais da planta, como a ciclagem de C e N e também dos metabólitos secundários, com reflexo positivo no mecanismo de defesa das plantas contra doenças (Fonte: Wood, B., 2007. O níquel tem fundamental importância na nutrição mineral e na defesa das plantas contra doenças. Informações Agrônômicas nº 119).

Respostas das plantas ao níquel

No Brasil, creio que foi Orlando Carlos Martins (informação pessoal), em 2006, quem primeiro testou o efeito do níquel na produção e qualidade das sementes de soja. Ele obteve consistente resposta da soja à dose de 250 g ha⁻¹ de sulfato de níquel, ou 50 g ha⁻¹ do elemento Ni, com aumento médio de 6,2 sc ha⁻¹ na produtividade da soja (Tabela 4).

Orlando comentou que não conseguiu entender a razão do aumento de produtividade obtido com a dose de 250 g ha⁻¹ de sulfato de níquel, pois fizera uma pulverização prévia com uma dose de níquel em todas as parcelas, inclusive na testemunha, para assegurar a nutrição adequada. Descartou, assim, a hipótese do níquel estar atuando como micronutriente. Começou, então, a suspeitar que o aumento de produtividade ocorrido na soja poderia estar rela-

Notamos que o efeito negativo do glifosato sobre o desenvolvimento das plantas de trigo diminui com a aplicação de Ni foliar

Tabela 1. Constantes de estabilidade (logK) do glifosato e do EDTA com íons metálicos

Cátions	Ligantes	
	Glifosato	EDTA
Ni ²⁺	13,34	18,4
Cu ²⁺	11,92	18,8
Co ²⁺	-	16,45
Zn ²⁺	8,4	16,5
Mn ²⁺	5,53	13,56
Ca ²⁺	3,25	10,7
Mg ²⁺	3,25	8,69

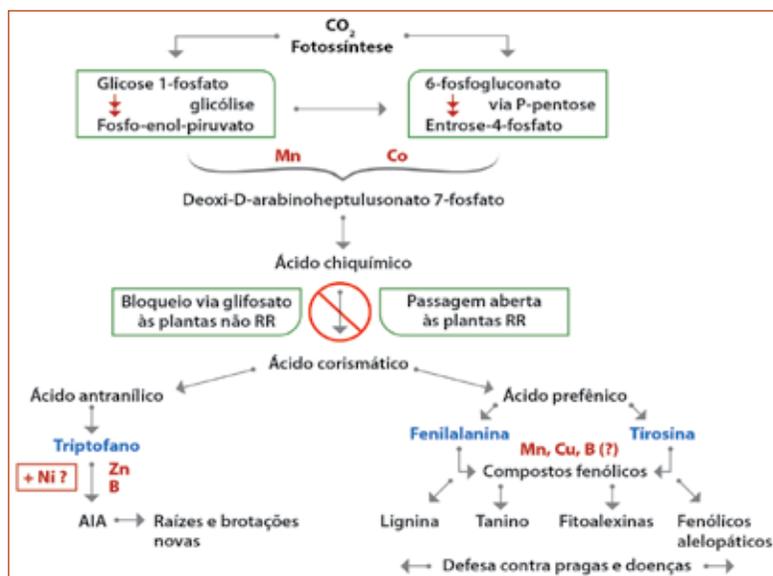
Fonte: Compilado de Coutinho e Mazo (Química Nova, versão on-line, ISSN 1678-7064, p. 1038-1045, 2005).

cionado ao maior controle da ferrugem, uma vez que, embora tenham sido feitas pulverizações com fungicidas específicos para o controle da ferrugem, esse controle geralmente não é total, implicando em redução de produtividade, principalmente porque as folhas do terço inferior da planta não recebem a dose suficiente de fungicida para um controle efetivo. Surgiu daí, a seguinte questão: será que o níquel poderia estar atuando também sobre a ferrugem da soja, como já constatado na cultura do trigo, e, com isso, reduzindo as perdas de produtividade de soja? Afinal, um aumento médio de produtividade de 6,2 sc ha⁻¹, como verificado no ensaio, é bastante expressivo, concluiu ele.

Podemos afirmar que o pesquisador tinha razão, conforme comprovam os trabalhos de Bruce Wood, da USDA, Byron-GA, e de Tiago Tezotto, da UNIFEOB, São João da Boa Vista (SP).

Outra informação importante, no trabalho de Orlando Carlos Martins, foi o efeito da aplicação foliar de Ni no teor de Ni da semente (Tabela 5). Observa-se que o teor de Ni nas sementes aumentou em 10 vezes, de 0,3 ppm na testemunha para 3,2 ppm na dose de 250 g ha⁻¹ de sulfato de níquel. A concentração de Ni nas sementes não foi afetada com as outras doses testadas de Ni.

Figura 6. Efeito do glifosato e dos micronutrientes na rota do ácido chiquímico, com reflexos no crescimento de raízes e brotações novas e na defesa da planta contra pragas e doenças. (Fonte: Adaptada de Graham, R.D. & Webb, M.J.(Ed.) *Micronutrients in Agriculture*, SSSAP (1991)



Acredito que o teor de Ni na semente, cerca de 3 ppm, é o grande diferencial das empresas ditas "de grife", em relação às demais empresas, pois o Ni pode melhorar a germinação e o vigor da semente, dispensando, assim, o replantio da lavoura. Este teor é da mesma ordem de grandeza que a de outra leguminosa, o tremoço, como visto na Tabela 3.

Lavres et al, 2006 (*Frontiers in En-*

vironmental Science, volume 4, artigo 37) concluem que o fornecimento de Ni via sementes é uma estratégia viável, pois este elemento pode ser aplicado em associação com o Co e o Mo, todos participantes no processo da fixação biológica de nitrogênio (FBN). A dose de 45 mg de Ni por quilograma de semente aumentou a FBN em 12%, a produção de grãos em 84% e a produção de massa seca da parte aérea em 51%.

Tabela 2. Efeito do níquel na germinação e vigor de sementes de trigo originadas de plantas com e sem contaminação de glifosato

Ni foliar	Glifosato	Germinação	Altura da plântula
% NiCl ₂ .6H ₂ O	% da dose letal	%	cm
0	0	86	8,8
0	1	69	6,1
0,01	0	89	8,7
0,01	1	81	8,2

Tabela 3. Teores de micronutrientes na parte vegetativa e nas sementes de tremoço e centeio

Espécie	Partes da planta	Conteúdo (µg g ⁻¹ peso seco)					
		Ni	Mo	Cu	Zn	Mn	Fe
Tremoço	Vegetativa	0,81	0,08	3,6	28,0	298	178
	Semente	5,53	3,29	6,0	41,0	49	47
Centeio	Vegetativa	0,62	0,17	1,6	7,0	16	78
	Semente	0,28	0,33	4,4	25,0	27	26

Fonte: Horak, 1985, citado por Marschner, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants*.

Tabela 4. Efeito de doses de sulfato de níquel na produtividade da soja

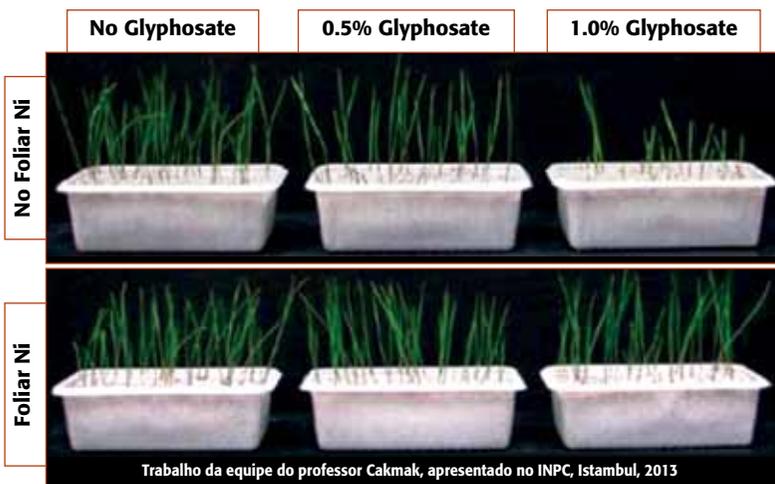
Dose de sulfato de níquel (g ha ⁻¹)	Produtividade (sc ha ⁻¹)			
	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Média
Testemunha	53,3 b	47,8 c	47,4 b	49,5
250	56,8 a	56,7 a	53,7 a	55,7
500	46,0 c	57,5 a	47,0 b	50,2
1.000	47,5 c	50,4 bc	40,1 c	46,0

Orlando Carlos Martins, comunicação pessoal, 2006

Tabela 5. Efeitos de doses de sulfato de níquel no teor de Ni na semente de soja

Dose de sulfato de níquel (g ha ⁻¹)	Teor de Ni (ppm) na semente de soja
Testemunha	0,3
250	3,2
500	3,1
1.000	3,6

Orlando Carlos Martins, comunicação pessoal, 2006



Trabalho da equipe do professor Cakmak, apresentado no INPC, Istanbul, 2013

Figura 7. Efeito do níquel no crescimento de trigo, em tratamentos com e sem pulverização de doses não letais de glifosato, (0,5% e 1,0% da dose recomendada de glifosato na dessecação).

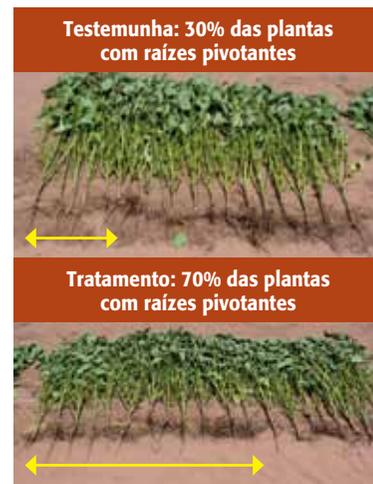


Figura 8. Efeito de tratamento foliar com fosfitos de Ni, Mn, Zn e Mg no desenvolvimento de raízes de soja.

Fotos: T. Yamada

Recomendação da dose de níquel

Não existe, ainda, no Brasil, recomendação oficial para o fornecimento de níquel para as culturas. Na prática, as doses mais adotadas na cultura da soja são: (a) para tratamento de sementes: 2 a 3 g de Ni em 50-60 kg de sementes; (b) para aplicação foliar: 10 a 50 g ha⁻¹ de Ni.

o mau desenvolvimento ou atrofia-mento das raízes como a principal causa que afeta o rendimento da cultura da soja. Como isto ocorre de maneira generalizada, a denominei de Síndrome das Raízes Atrofiadas. Como hipótese, considero três possíveis causas de tal problema: toxidez de alumínio, deficiência de boro e toxidez de glifosato.

Conclusão

Nesta série de artigos, aponte

Na Figura 9 resumo as possíveis causas e apresento sugestões para a

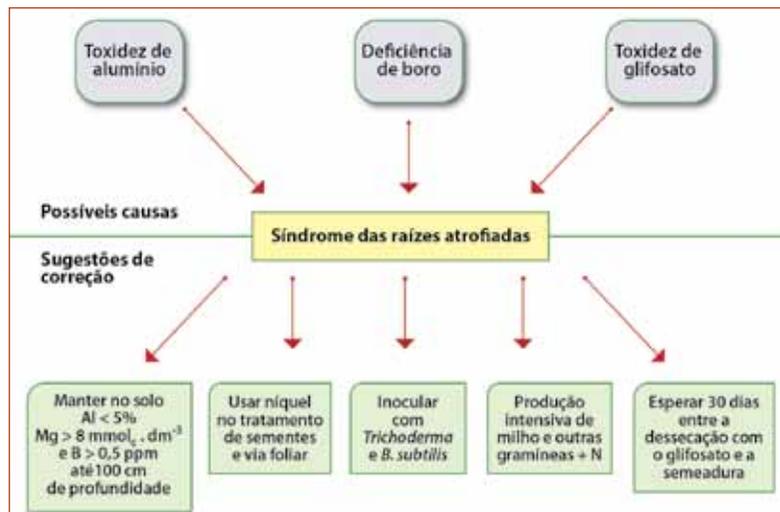


Figura 9. Três possíveis causas químicas da síndrome das raízes atrofiadas e sugestões para sua correção.

correção desta síndrome: (1) – calagem para reduzir a saturação por alumínio para menos de 5% e aumentar o teor de Mg para mais de 8 mmol·dm⁻³ até 100 cm de profundidade; (2) – elevar o nível de B para 0,5 ppm no perfil do solo, também até 100 cm de profundidade; (3) – promover alta produtividade de milho e de gramíneas de cobertura com abundante adubação nitrogenada; (4) – aplicar Ni no tratamento de sementes e também via foliar; (5) – aguardar pelo menos 30 dias entre a dessecação com glifosato e a semeadura das culturas e (6) – inocular o solo com *Trichoderma* e *Bacillus subtilis*, pois há relatos na literatura que o glifosato afeta também a microbiota do solo.

Finalizando, sugiro aos consultores e aos produtores que coletem aleatoriamente 100 plantas em um talhão da propriedade e calculem o índice de plantas com raízes atrofiadas ou IRA. Não ficarei surpreso se também encontrarem mais de 70% de plantas com raízes atrofiadas. Acredito que as sugestões acima podem ajudar muito a mitigar este problema.