

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA
FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ADUBAÇÃO COM MANGANÊS EM SOJA. EFEITOS NO
SOLO E NA PLANTA**

Anderson Santos Pinto

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2012

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA
FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ADUBAÇÃO COM MANGANÊS EM SOJA. EFEITOS NO
SOLO E NA PLANTA**

Anderson Santos Pinto

Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias– Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2012

Pinto, Anderson Santos
P659a Adubação com manganês em soja. Efeitos no solo e na
planta / Anderson Santos Pinto. -- Jaboticabal, 2012
x, 58 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012
Orientadora: Edson Luiz Mendes Coutinho
Banca examinadora: José Eduardo Corá, Anice Garcia
Bibliografia

1. Fracionamento. 2. Fontes. 3. Extração sequencial. 4.
Soluções extratoras. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias..

CDU 631.6871:633.34

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.
e-mail: andersonsp.agro@gmail.com

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ANDERSON SANTOS PINTO - nascido em 03 de Junho de 1983, na cidade de Itabuna-BA, formou-se Técnico Agrícola na Escola Média de Agropecuária Regional da Ceplac – EMARC no ano de 2000, é Engenheiro Agrônomo formado pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB no ano de 2009, onde foi estagiário do laboratório de nutrição animal e bolsista FAPSB nos anos de 2006 e 2007. Trabalhou na empresa INTEC Ambiental, em Viçosa – MG, em 2009/2010, na qualidade de consultor/estagiário. Ingressou no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, nível de Mestrado, em março de 2010.

Aos meus pais,

Nivaldo e Alba pelo apoio incondicional,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre mostrar o caminho certo.

Aos meus pais Alba Cordélia Santos Pinto e Nivaldo Ramos Pinto, minha irmã Thaysa e seu esposo Rulian, meu irmão Albert e esposa Polly, minha filha Lorena e sobrinhos Tavinho e Gui pelo amor de sempre e toda minha família pelo apoio, compreensão, carinho e confiança.

Ao Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho pela orientação e amizade.

À FAPESP pela bolsa concedida.

Ao Prof. José Carlos Barbosa pela ajuda nas análises estatísticas.

Aos amigos (as) de pós-graduação Marilena, Saulo, Bernardo, Valdeci pelo apoio e amizade.

Àos amigos da república Thiago, Gabriel, Anchieta e João pelo apoio, e convivência agradável nesses anos de curso.

Aos professores e funcionários do Departamento de Solos e Adubos.

À minha namorada Ariadne Oliveira pelo amor, carinho e apoio naqueles momentos mais difíceis, onde nada parecia dar certo.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iv
SUMMARY.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Manganês na planta.....	3
2.2. Manganês no solo: disponibilidade e extração.....	5
2.3. Mn nas frações do solo.....	7
2.4. Adubação e fontes de manganês.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1. Solo.....	12
3.2. Delineamento, tratamentos e condução do Experimento I.....	12
3.3. Delineamento, tratamentos e condução do Experimento II.....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO (Experimento I).....	17
4.1. Efeito do manganês na planta.....	17
4.2. Efeito do manganês no solo.....	23
4.3. Extração sequencial do Mn no solo.....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO (Experimento II).....	33
5.1. Efeito da adubação via foliar na planta.....	33
6. CONCLUSÕES.....	38
7. AGRADECIMENTOS.....	39
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

ADUBAÇÃO COM MANGANÊS EM SOJA. EFEITOS NO SOLO E NA PLANTA

RESUMO - Foram instalados dois experimentos em condições de campo, num solo Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, com alto valor de pH na camada superficial e com problemas de deficiência de Mn. O primeiro experimento procurou estudar o efeito da adição de doses (0, 2, 5, 8, 11 e 14 kg ha⁻¹ de Mn) e fontes de Mn (sulfato de Mn e Mn-“fritas”), aplicadas via solo, na produção de matéria seca da parte aérea e de grãos de soja, nas concentrações de Mn nas folhas e na parte aérea, assim como, na distribuição do micronutriente em frações (reservatórios) do solo (troçável, matéria orgânica, óxidos de Fe e Al cristalino e pouco cristalino e residual) e na disponibilidade para a leguminosa, avaliada através das soluções extratoras DTPA, Mehlich-1, Mehlich-3 e HCl. Procurou-se determinar o nível crítico de Mn no solo e nas folhas, identificando a fração do solo (reservatório) com que o Mn predominantemente se associa após a sua aplicação e, relacionar o micronutriente nas diversas frações com o Mn extraível pelas soluções de DTPA, HCl, Mehlich-3 e Mehlich-1, assim como, com a quantidade do micronutriente absorvida e acumulada na parte aérea das plantas. Devido o Mn aplicado em solo com alto pH poder tornar-se indisponível às plantas, foi realizado um segundo experimento, onde procurou-se estudar em três cultivares de soja, o efeito de fontes de Mn aplicadas via foliar (sulfato de Mn, Mn-EDTA e cloreto de Mn) e de doses (0, 200, 400 e 600 g ha⁻¹ de Mn) aplicadas nos estádio V4, V6 e V9, respectivamente. Foi avaliada a produtividade de grãos de soja e as concentrações de Mn na folha diagnóstica. Houve aumento significativo na produção de soja (grãos e M.S.) com o incremento das diferentes fontes e doses de Mn, sendo a melhor dose via solo foi a de 8 kg ha⁻¹ e a foliar foi a de 600 g ha⁻¹, subdivididas em três épocas de aplicação. Para a aplicação via solo a fonte MnSO₄ foi mais eficiente na elevação da produção de grãos em relação à do tipo “fritas”. As frações, troçável e matéria orgânica, foram as que o Mn mais se associaram, após a sua aplicação, porém o acúmulo de Mn no solo foi associado com a fração troçável, indicando que, provavelmente, a planta tenha absorvido o Mn, principalmente, dessa fração. Todas as soluções extratoras foram capazes de se relacionar com a fração troçável. Para todas as fontes via foliar,

foram capazes de incrementar aumento na produção de grãos, porém foi observado, que a fonte cloreto de Mn, proporcionou maiores concentrações.

Palavras-chave: fracionamento, fontes, extração sequencial, soluções extratoras

FERTILIZATION WITH MANGANESE IN SOYBEANS. EFFECTS ON SOIL AND PLANT

ABSTRACT - Two experiments were carried out under field conditions, a soil loam Ultisol, with high pH in the surface layer and Mn deficiency problems. The first experiment aimed to study the effect of adding doses (0, 2, 5, 8, 11 and 14 kg ha⁻¹ Mn) and sources of Mn (Mn sulfate and Mn-"chips") applied to soil, in dry matter production of shoots and soybean, the concentrations of Mn in leaves and shoots, as well as the distribution of micronutrient in fractions (reservoirs) soil (exchangeable, organic matter, Fe and Al oxides crystalline and poorly crystalline and residual) and the availability for legume, evaluated through the DTPA, Mehlich-1, Mehlich-3 and HCl. We sought to determine the critical level of Mn in soil and leaves, identifying the fraction of the soil (reservoir) with the Mn predominantly associates after their application, and relate the micronutrient in the various fractions with Mn extractable with DTPA HCl, Mehlich-3 and Mehlich-1, as well as with the amount of micronutrient absorbed and accumulated in the shoots. Because the applied Mn in soil with high pH can become unavailable to the plants, we performed a second experiment where we tried to study in three soybean cultivars, the effect of sources of foliar applied Mn (Mn sulfate, Mn- EDTA chloride and Mn) and doses (0, 200, 400 and 600 g ha⁻¹ Mn) applied in stage V4, V6 and V9, respectively. We evaluated the productivity of soybeans and the concentrations of Mn in the diagnostic leaf. A significant increase in soybean production (grain and MS) with increasing doses of different sources and Mn, the best dose in the soil was 8 kg ha⁻¹ and foliar was 600 g ha⁻¹, subdivided into three application times. For application via ground source MnSO₄ was more effective in increasing the grain yield in relation to the type "chips". The fractions, exchangeable and organic matter were the most associated Mn, after its implementation, but the accumulation of Mn was associated with the exchangeable fraction, indicating that probably the plant has absorbed the Mn, mainly this fraction. All extraction solutions were able to relate to the exchangeable fraction. For all sources foliar, were able to increase grain production increase, but noted that the source of Mn chloride, resulted in higher concentrations.

Keywords: fractionation, sources, sequential extraction, extraction solutions

1. INTRODUÇÃO

A toxicidade do manganês tem sido um problema constante para a cultura da soja, dada a sua maior probabilidade de ocorrência em nossos solos, geralmente ácidos. Sua carência, entretanto, é um fato mais recente, provavelmente devido à incorporação de áreas de baixa fertilidade ao processo produtivo e o uso de cultivares com alto potencial de produção (NOVAIS et al., 1989; ROSOLEM; NAKAGAWA, 1990; ABREU et al., 1994a).

O Mn disponível no solo depende, principalmente, do material de origem e de alguns fatores como o pH, a matéria orgânica e a textura dos solos (VALADARES; CAMARGO, 1983). Novais et al. (1989), relataram que sintomas de deficiência, em condições de campo, estão frequentemente associados a solos com pH (H₂O) acima de 6,5 e, em particular, aqueles de textura média.

A análise química do solo é uma ferramenta importante no diagnóstico da necessidade da adubação com manganês, mas há alguns problemas, como a falta de teores previamente estabelecidos com ensaios de calibração, sendo o Mn fornecido empiricamente (SFREDO et al., 2007), o que pode representar erros na recomendação ou gerar custo desnecessário quando o solo é suprido, podendo induzir excessos e toxicidade.

A identificação de solos por meio de extratores químicos com elevada probabilidade de resposta à aplicação de Mn, pode ser melhorada com as informações originadas a partir da extração sequencial ou fracionamento que possibilita estimativa da quantidade do micronutriente (nativo ou aplicado), em cada fração do solo e, conseqüentemente, essa distribuição terá implicação no aproveitamento do micronutriente pelas plantas, auxiliando assim, na identificação do melhor extrator na avaliação do Mn disponível no solo. Vários trabalhos têm demonstrado que a fração mais solúvel (troçável) é a mais importante forma de Mn disponível no solo para as plantas ou solubilizada por soluções extratoras (Shuman, 1986; Sims, 1986 e Coutinho et al., 2010).

A deficiência de Mn pode ser corrigida pela aplicação de diferentes fontes deste micronutriente no solo e/ou folhas.

A eficiência da aplicação de Mn no solo depende de uma série de fatores, mas de maneira geral é baixa, necessitando a utilização de doses consideradas elevadas em se tratando de micronutrientes. Por exemplo, Gettier et al. (1984) determinaram que a dose de Mn que proporcionou maior produtividade de soja foi de 60 kg ha^{-1} , utilizando a fonte sulfato de Mn.

Em condições de alto pH do solo, a eficiência da adubação com Mn via solo pode ser baixa, devido o Mn solúvel contido no adubo passar rapidamente para formas não disponíveis. Para evitar esse problema, pode ser interessante fornecer o micronutriente via foliar. No entanto, sabe-se que a espécie vegetal é um fator muito importante quanto à eficiência da absorção foliar de Mn, mas na melhor das hipóteses, o tempo requerido para que 50% do Mn aplicado seja absorvido é alto. O fato do transporte do Mn absorvido pelas folhas ser muito pequeno, leva-nos a inferir que provavelmente seja necessária mais de uma aplicação foliar de Mn. Esse número de aplicações (doses) poderá ainda variar com o cultivar utilizado.

Com a finalidade de tentar elucidar os problemas acima relacionados, este experimento teve os seguintes objetivos:

- a) verificar os efeitos da aplicação de Mn via solo ou foliar na produtividade de grãos de soja, procurando-se estabelecer a melhor fonte do micronutriente via solo e via foliar;
- b) comparar quatro soluções extratoras de formas disponíveis de Mn e relacionar os resultados obtidos com a concentração de Mn na folha, o acumulado na planta e a produção de grãos, procurando-se determinar os níveis críticos de Mn no solo e na folha;
- c) identificar a fração ou frações do solo (reservatórios) com que o Mn se associa após a sua aplicação;
- d) relacionar o Mn nas diversas frações do solo e a quantidade absorvida e acumulada na parte aérea das plantas;
- e) relacionar o Mn extraível pelas soluções extratoras com o Mn nas diferentes frações

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Manganês na planta

O manganês desempenha um importante papel no metabolismo da planta, particularmente em processos de ativação de diferentes enzimas, síntese de clorofila e fotossíntese.

Esse micronutriente é absorvido pelos vegetais predominantemente como Mn^{+2} , forma que apresenta propriedades químicas semelhantes às de metais alcalinos-ferrosos, tais como o Ca^{+2} e o Mg^{+2} , e de metais pesados, como o Fe e o Zn, podendo esses cátions inibir sua absorção e transporte nas plantas (MALAVOLTA et al., 1997).

Nos tecidos das folhas, o manganês é associado com as proteínas do sistema de oxigênio em evolução e é indispensável para a geração da energia fotossintética (FAGERIA, 2001). Sua deficiência é caracterizada por uma clorose internerval nas folhas mais novas, devido a redução na síntese de clorofila e a pouca remobilização desse micronutriente (OHKI, 1984). O excesso de Mn^{+2} , por sua vez, pode inibir a absorção de Ca, Mg, Fe e Zn.

A concentração de Mn nos tecidos da planta para um crescimento normal varia de 50 a 100 mg kg^{-1} em matéria seca. Segundo Tanaka et al. (1992), há, entre os teores de Mn nas folhas de soja, uma correlação positiva entre a produtividade de grãos.

Segundo Rosolem et al. (2001), a soja absorve, 300 g de manganês, para cada tonelada de grãos produzidos, desse total, são encontrados, 56% nas raízes, 29% na parte aérea e 15% são exportados pelos grãos.

Oliveira Junior et al. (2000), observaram uma produção de matéria seca e de grãos superior, com a aplicação de 50 mg kg^{-1} de Mn, tanto na presença quanto na ausência de calcário. Quando tomada, por referência, a testemunha (ausência de Mn), observaram que os maiores aumentos na produção foram obtidos com as doses de 10 e 50 mg kg^{-1} de Mn, tanto na presença como na ausência de calcário, enquanto a dose de 100 mg kg^{-1} sem calcário causou um efeito depressivo na produção de matéria seca e de grãos.

Wilson et al. (1983) trabalhando com a cultura da soja, registraram um aumento significativo na produção de soja após aplicação do manganês, porém, quando realizada a calagem, foi verificada a redução dos teores de Mn na parte aérea da planta. Comportamento semelhante foi verificado por Chimello (2001) quando elevou o pH de de 4,1 a 5,4, ocorrendo diminuição nos teores de Mn na planta de 610 mg kg⁻¹ para 58 mg kg⁻¹.

O manganês pode também competir pelo mesmo sítio ativo dos carreadores com outros nutrientes, como o Mg, fornecido através da calagem. A constatação do tipo de inibição não competitiva demonstra que em solos com alta concentração de Mn, a aplicação de calcário pode diminuir o efeito de toxicidade deste micronutriente em decorrência do aumento do pH do solo e da presença dos cátions Ca²⁺ e Mg²⁺, porém, em condições de carência, a calagem pode agravar essa situação.

Moreira et. al. (2003), estudando a influência do magnésio na absorção de manganês, constataram que na medida em que houve o aumento da concentração de Mg no solo, houve um decréscimo na absorção de Mn por raízes destacadas. O incremento na concentração de Mg de 1,0 mmol L⁻¹ para 3,0 e 6,0 mmol L⁻¹ diminuiu progressivamente a absorção de Mn, com redução média de 34,5% (3,0 mmol L⁻¹) e 60,3% (6,0 mmol L⁻¹). Esse resultado é evidência da interação que ocorre entre os nutrientes, com inibição na absorção de Mn, pela maior presença de Mg na solução.

Outro fator importante, com relação à deficiência de Mn, é a própria planta, que, segundo Abreu et al. (1994a), diferentes cultivares de soja podem apresentar comportamento diferenciado, mesmo sob condições semelhantes.

Segundo Lavres Júnior et al. (2008), diferenças genotípicas quanto à absorção, transporte ou distribuição do Mn na planta, podem causar variação na absorção de Mn nas diferentes cultivares.

Mascarenhas et al. (1990) estudando o comportamento de cultivares de soja em solução nutritiva, sob diferentes doses de Mn, relataram que apenas alguns cultivares apresentaram diferenças em relação à produção de matéria seca. Mesmo sob altas doses de Mn, foi observado baixo teor do micronutriente na parte aérea, o que estaria relacionado com a resistência à toxicidade de Mn.

Segundo Peck (1979), os teores suficientes de Mn nas folhas de soja estão entre 21 e 100 mg kg⁻¹ e o excessivo, quando superior a 250 mg kg⁻¹, sendo que

algumas cultivares como uma linhagem da Foscarin 31, por apresentarem a característica de absorver uma quantidade maior do que 250 mg kg^{-1} , pode ser considerada resistente à toxicidade de Mn (MASCARENHAS et al. 1994).

2.2. Manganês no solo: disponibilidade e extração

Segundo Borkert et al. (2001), o Mn dos solos brasileiros, tem sua ocorrência predominantemente pedogênica, e os teores podem variar de 3 a 190 mg dm^{-3} nos horizontes superficiais de solos do estado de São Paulo (VALADARES; CAMARGO, 1983).

O Mn disponível no solo depende, principalmente, do material de origem e de alguns fatores como o pH, a matéria orgânica e a textura dos solos (VALADARES; CAMARGO, 1983).

Em condições de campo, a deficiência normalmente ocorre em plantas cultivadas em solos tropicais altamente lixiviados ou solos com altos valores de pH e ricos em matéria orgânica (FAGERIA, 2001).

A calagem, e o conseqüente aumento de pH do solo, é provavelmente o fator mais importante de controle da disponibilidade de micronutrientes catiônicos para as plantas, visto que esses elementos têm sua disponibilidade diminuída com a elevação do pH do solo.

O efeito da calagem sobre a disponibilidade de Mn se deve, principalmente, ao incremento dos sítios de adsorção no solo em decorrência da existência de cargas dependentes de pH, como descrito por Alloway (1990), e, por conseqüente, da densidade de cargas negativas presentes na superfície dos coloides.

A indagação sobre a determinação da disponibilidade de micronutrientes tem, frequentemente, apresentado resultados discordantes, em grande parte, em decorrência das diferenças nos teores considerados “disponíveis” pelos diversos extratores e suas relações com características dos solos e formas químicas em que se encontram os elementos.

Selecionar uma solução química que possa remover teores imediata e potencialmente disponíveis de um nutriente requer entendimento das várias formas do elemento nos solos (SIMS; JOHNSON, 1991).

Diversos extratores químicos têm sido utilizados na avaliação da disponibilidade de Mn para as plantas. Entre os extratores ácidos mais comumente usados no Brasil destaca-se o Mehlich-1 (DEFILIPPO; RIBEIRO, 1997).

Extratores quelantes como DTPA (LINDSAY; NORVELL, 1978), também são utilizados e, permitem acessar os teores de Mn na solução do solo (fator intensidade) e aqueles adsorvidos à fase sólida (fator quantidade), em equilíbrio com a fase líquida. Isto parece ser um ponto bastante positivo deste extrator, pois os extratores ácidos não têm essa característica e podem dissolver micronutrientes do solo independentemente da labilidade (NOVAIS; SMITH, 1999).

Mais recentemente, a solução extratora Mehlich-3, também foi incluída nos estudos de avaliação de extratores de micronutrientes.

Segundo descrito por Rosolem et al. (1992), um bom extrator, confiável para análises de rotina, deve apresentar coeficientes de correlação altos e significativos com o crescimento e a absorção do nutriente pela planta em todas as situações. No caso do Mn, isso não é sempre observado.

Dentro desse contexto, Shuman et al. (1974) procuraram estudar a habilidade do DTPA, ácido fosfórico e o Mehlich-1 na identificação das mudanças da disponibilidade de manganês devidas ao pH do solo, dose e fonte desse micronutriente. Todos os extratores foram eficientes em separar o efeito das doses de manganês, mas somente o DTPA identificou com sucesso a diminuição nos teores de manganês extraível quando o pH (água) aumentou de 6,2 para 6,7.

Com o objetivo de identificar solos deficientes em manganês, Mascagni Junior e Cox (1985a) conduziram 38 experimentos nos EUA, em condições de campo, com a cultura da soja. Através de um estudo de regressão, os autores verificaram que o pH do solo ou o manganês extraível (Mehlich-1 e Mehlich-3), isoladamente, explicaram menos de 30% da variação na produção; quando essas variáveis foram consideradas conjuntamente, os coeficientes de determinação (R^2) aumentaram para 0,56** e 0,59** para os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 respectivamente.

De maneira análoga, Abreu et al. (2004) relataram que os coeficientes de correlação entre os teores de Mn no solo e na planta, obtidos com extratores ácidos ou quelantes, são em sua maioria, baixos.

Moreira et al. (2006) observaram que os teores de Mn trocáveis extraídos pelos diversos extratores (DTPA, HCl, Mehlich-1 e Mehlich-3) geralmente não representaram a quantidade disponível às plantas de soja.

De acordo com Abreu et al. (1994a,b), para alguns métodos, a disponibilidade de manganês foi melhor avaliada quando a interpretação era acompanhada de alguns atributos do solo. Assim, em solos não adubados com manganês a interpretação do seu teor foi mais confiável quando acompanhada do valor de pH ou teor de argila. Os autores verificaram ainda que as soluções ácidas e o DTPA somente foram eficazes em avaliar o manganês disponível quando a interpretação foi acompanhada do valor de pH.

Coutinho e São João (2009), entretanto, estudando solos com texturas distintas e deficientes em Mn, verificaram que os extratores DTPA e M-1 foram eficientes em avaliar a disponibilidade de Mn para a soja.

As soluções salinas, tamponadas ou não, que determinam em tese, preferencialmente a forma trocável de Mn, têm sido mais eficientes em avaliar a disponibilidade desse elemento para as plantas (MURAOKA et al., 1983; ABREU et al., 1994b).

2.3. Mn nas frações do solo

O sucesso de um extrator está relacionado com a sua capacidade de extrair o micronutriente das frações (reservatórios) responsáveis pelo seu fornecimento às plantas (SHUMAN, 1986; SIMS, 1986). Por isso, a identificação de solos por meio de extratores químicos com elevada probabilidade de resposta à aplicação de Mn, pode ser melhorada com as informações originadas a partir da extração sequencial ou fracionamento.

Os procedimentos de extração sequencial são usados para separar as formas químicas dos elementos, especialmente metais, e estão sendo empregadas em estudos de solos e sedimentos. Essas técnicas são úteis para vários profissionais, entre eles, os ambientalistas que as utiliza no tratamento de lodo de esgoto e sedimentos, e os químicos do solo que utilizam esses esquemas para investigar formas naturais de micronutrientes em solos, fixação e mobilidade dos nutrientes nos solos (SHUMAN, 1985).

Vários trabalhos têm demonstrado que a fração mais solúvel (trocável) é a mais importante forma de Mn disponível no solo para as plantas ou solubilizada por soluções extratoras (SHUMAN, 1986; SIMS, 1986).

Borges e Coutinho (2004), em estudo de fracionamento de metais, após a aplicação de biossólido em dois solos, verificaram que a maior parte dos metais encontrava-se nas frações com ligações mais estáveis (ligados a óxidos e residual). No solo arenoso, maiores proporções dos metais foram encontradas nas frações fitodisponíveis (trocável e orgânica), quando comparado ao solo argiloso. Os autores verificaram ainda, que as frações trocável e orgânica foram as maiores responsáveis pelos teores dos metais extraídos do solo pelas soluções DTPA, HCl, Mehlich-1 e Mehlich-3.

Nascimento et al. (2002) estudando a influência da calagem e de doses de manganês sobre a dessorção, extração química e fracionamento desse elemento em amostras de Latossolos, encontraram teores relativamente elevados em frações consideradas disponíveis, com 13 % na forma trocável e 11 % em formas ligadas à matéria orgânica, o que indica a baixa afinidade do Mn pelos sítios de adsorção mais específicos do solo (HARTER, 1991; McBRIDE, 1994). Isto pode ser explicado pelo fato de que, independentemente da reação do solo, a fração trocável e a matéria orgânica são predominantes na retenção do elemento.

Moreira et al. (2006) conduzindo experimento em condições de campo, em solos sob semeadura direta, verificaram que grande parte do Mn aplicado foi retida na fração orgânica em formas estáveis, não disponíveis às plantas.

Shuman (1988), para aumentar o teor de matéria orgânica em oito solos, aplicou restos culturais de trigo e observou um aumento na quantidade de Mn nas frações trocável, orgânica e óxidos de Fe não cristalinos e diminuição na fração residual e de óxidos de Fe cristalinos.

Em trabalho com extração sequencial de Mn e Zn em função do pH e adição de cama-de-frango, Nachtigall et al. (2009), concluíram que os teores de Mn, somente na fração trocável, foram afetados pela variação dos teores de MO dos solos, e aumentaram de forma linear com o aumento das doses de cama-de-frango adicionadas. A maior proporção do Mn esteve ligada à fração orgânica (35%) e à fração residual (30%), principalmente em valores de pH mais elevados.

Chimello (2001), ao aplicar três doses de material corretivo para estudar a distribuição de Mn nas frações de um latossolo textura média, observou que com a elevação do pH ocorreu redistribuição do Mn da fração mais solúvel (trocável) para as menos solúveis (óxidos de Fe e Al cristalinos e não-cristalinos).

Moreira et al. (2006), em solos de textura média, observaram que nas parcelas em que não se aplicou o Mn, 44,2% do Mn (soma das frações) encontrava-se na forma residual e apenas 15,5% na forma orgânica. Posteriormente, quando se aplicou 48 kg ha⁻¹ de Mn, a quantidade de Mn na forma orgânica passou para 51,9 % do Mn total, e apenas 20% ficou na forma residual, demonstrando que a maior parte do Mn aplicado estava retido na MO do solo.

Nachtigall et al. (2009) verificaram em dois solos, que o Mn e Zn ligados à fração trocável aumentaram com a redução dos valores de pH dos solos. Ao mesmo tempo, ocorreu redução dos teores de Mn ligados à fração orgânica e aos óxidos.

Bibak (1994), relata que em condições de pH > 6,0, a quantidade de Mn adsorvido à MO é geralmente elevada ocorrendo, normalmente, baixos teores das formas trocáveis e elevados teores nas formas orgânicas e de óxidos.

Segundo Nachtigall et al. (2009), com a diminuição do pH diminui também o número de sítios OH na superfície da MO e dos óxidos que podem reter Mn e Zn. A maior proporção do Mn esteve ligada à fração orgânica (35%) e à fração residual (30%), principalmente em valores de pH mais elevados. A fração do Mn ligada aos óxidos representou, em média, 15% do Mn total e a fração trocável indicou menos que 20% do Mn total.

Moreira et al. (2006) trabalhando com um Latossolo Vermelho distrófico observaram que a maior quantidade de Mn estava ligada aos óxidos, seguida da fração residual e da orgânica. Contudo, o solo estudado apresentava alto teor de argila (630 g kg⁻¹) e teores de MO em torno de 30 g dm⁻³. Nos solos argilosos, a maior quantidade de Mn geralmente está adsorvida aos óxidos (SHUMAN, 1985), e nos menos argilosos, complexada pela MO (SIMS, 1986; ZHANG ET al., 1997).

2.4. Adubação e fontes de manganês

O uso de fontes contendo micronutrientes, na agricultura, aumentou notadamente, na década de 90 (LOPES, 1999), isso, provavelmente devido à

utilização de solos com teores de nutrientes naturalmente baixos, além do esgotamento de solos férteis, o acelerado aumento de produtividade e da utilização inadequada de calcário. Estes fatores contribuem para deficiência de Mn nas plantas cultivadas (TANAKA et al., 1993).

No presente contexto, tem aumentado também, a oferta de fertilizantes para a aplicação via solo ou foliar, visando à correção da deficiência de Mn.

A eficiência agronômica, dessas fontes de manganês, depende das características intrínsecas do adubo. E, mesmo após sua aplicação, pode haver deficiências, sugerindo, entretanto, que nem todo o manganês contido nos fertilizantes está disponível às plantas (LOPES, 1999).

Entre as fontes, utilizadas, destacam-se: Mn-EDTA, Mn-lignosulfonato, óxidos, cloretos, sulfatos, oxissulfatos e óxidos silicatados (“Fritas”). Além dessas fontes, tem-se utilizado no Brasil micronutrientes misturados com fertilizantes NPK granulados.

A eficiência da aplicação de Mn no solo de maneira geral é baixa, e necessita a aplicação de doses consideradas elevadas em relação aos micronutrientes.

Moreira et al. (2006) empregaram doses de até 48 kg ha^{-1} de Mn, e observaram de modo geral, aumentos nos teores do micronutriente nos solos, mas a concentração e a quantidade de Mn acumuladas pelas plantas de soja foram pouco influenciadas. Enquanto Gettier et al. (1984) determinaram que a dose que proporcionou maior produtividade de soja foi de 60 kg ha^{-1} .

Mann et al. (2001), pesquisando o efeito da adubação com manganês via solo e foliar, constataram que a aplicação de manganês nas suas diferentes formas (época e local, solo/folha) proporcionou acréscimos significativos na produção de grãos de soja e nos teores foliares do elemento, em vaso.

Outro fator a se considerar é a fonte do micronutriente utilizada. Abreu et al. (1996), relataram que tanto o óxido como o sulfato de manganês corrigem a deficiência quando aplicados via solo, mas por ser menos solúvel em água a dose de óxido requerida é maior.

Outro fertilizante frequentemente utilizado no fornecimento de Mn ao solo é o do “tipo fritas”. Coutinho e São João (2009), ao avaliarem a eficiência agronômica de diferentes fontes de Mn para a soja, relataram que o sulfato de manganês foi mais eficiente do que o Mn “tipo fritas”.

Produtos de alta solubilidade em água, após aplicados ao solo, difundem-se mais rapidamente para a região ao seu redor que aqueles de baixa solubilidade.

Para evitar a complexa reação do Mn com o solo e possíveis reduções da absorção pela planta, pode-se fornecê-lo via foliar, que, segundo Alvarez (1989), essa técnica foi desenvolvida, visando a maximização do aproveitamento dos nutrientes. Primavesi (1980), entretanto, observou que a utilização para macronutrientes, em substituição total ao fornecimento via solo, deve ser bastante cuidadosa, devido ao fato desses serem fornecidos em grandes quantidades. No entanto, para os micronutrientes, essa técnica pode ser utilizada com melhor aproveitamento.

Comparando duas técnicas de adubação (solo e foliar), Oliveira Junior et al. (2000), não observaram diferença significativa entre a aplicação foliar do Mn (0,6%, em duas aplicações, com intervalo de duas semanas, a partir do estágio R1), e a maior dose de Mn aplicada via solo, mostrando o efeito das doses de Mn na produção de grãos e matéria seca em ambas as doses de calcário.

Entretanto, Mann et al. (2001) concluíram, que as aplicações de Mn via foliar, 450 e 600 g ha⁻¹, com três épocas de aplicação (V4, V8 e V10, respectivamente com quatro, oito e dez trifólios com folíolos desdobrados), foram as responsáveis pelas maiores produtividades obtidas, sendo consideradas mais eficientes que as aplicações via solo.

Comparando diferentes fontes de Mn nas culturas do milho e laranja, Boaretto e Muraoka (1997), observaram que todas as fontes foram eficientes no aumento do teor de Mn na folha, nas fontes inorgânicas foram mais eficientes que os quelatos (Mn-lignosulfonato e Mn-EDTA). Dentro desse contexto Ferrandon e Chamel (1988) observaram que o Mn-EDTA é absorvido pelas folhas em menor proporção da quantidade aplicada que o sulfato, porém é menos retido na cutícula foliar e mais translocado para as outras partes da planta em comparação àquela fonte inorgânica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Solo

Os dois experimentos foram conduzidos no município de Santa Adélia – SP, num solo classificado, segundo critérios da Embrapa (2006), como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, com deficiência de Mn para a cultura da soja, cujos principais atributos químicos são apresentados na Tabela 1. Na Tabela 2 é apresentada a caracterização granulométrica e mineralógica do solo utilizado.

Tabela 1. Análise química para fins de fertilidade do solo em diferentes profundidades. Santa Adélia 2010.

profun- didade m	pH CaCl ₂	M. O. g dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V	Mn ¹
				-----		mmol _c dm ⁻³	-----		%	mg dm ⁻³
0-10	5,9	22	15	2,5	42	11	10	65,5	85	0,6
10-20	4,9	17	9	1,3	20	5	34	60,3	44	0,5
20-40	4,8	12	4	0,9	13	4	28	45,9	39	0,4

(1) extrator DTPA

Tabela 2. Caracterização granulométrica e mineralógica do solo (amostra da camada de 0 – 0,20m). Santa Adélia 2010.

Fe (DCB)	Fe (oxalato)	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	argila	silte	Areia
-----g kg ⁻¹ -----								
130	0,9	22,0	51,0	57	n.d.*	200	18	782

*n.d. – não detectável

- caracterização mineralógica (EMBRAPA, 1979).

- análise granulométrica: método da pipeta (DAY, 1965).

3.2. Delineamento, tratamentos e condução do Experimento I

O experimento foi conduzido segundo o delineamento em blocos casualizados, num esquema fatorial 6x2 (seis doses e duas fontes de Mn) com quatro repetições. As parcelas foram constituídas de seis linhas de 5 m de

comprimento, espaçadas de 0,50 m, correspondendo uma área total de 15 m² e uma área útil de 10 m². As unidades experimentais foram separadas entre si por carregadores de 1 m de comprimento, o que totalizou 48 parcelas.

As doses de Mn (0, 2, 5, 8, 11 e 14 kg ha⁻¹) foram aplicadas no solo por ocasião da semeadura, na forma de sulfato de manganês (Mn total = 29,50%; Mn solúvel em água = 28,91%) e Mn-“fritas” – oxissulfato (Mn total = 30,20%; Mn solúvel em água = 1,48%). As doses foram definidas com base no teor total do micronutriente nos fertilizantes.

Para a avaliação do Mn total e do solúvel em água nos fertilizantes utilizados, foram empregadas metodologias descritas por Vale e Alcarde (1999).

Ainda, por ocasião da semeadura, todas as parcelas receberam doses constantes de fósforo e potássio (80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O) utilizando-se como fontes o superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente.

A semeadura da soja foi realizada no dia 16/11/2010 e foi utilizada a cultivar Vencedora, inoculando-se previamente as sementes com *Bradyrhizobium japonicum* (250 g de inoculante turfoso por 50 kg de sementes).

Para avaliar o estado nutricional das plantas, foram coletadas as terceiras folhas (sem o pecíolo) de 30 plantas no florescimento (MALAVOLTA et al., 1997); na mesma época foi realizada a amostragem de solo, na profundidade de 0 – 0,20m.

No estágio de frutificação plena (R4), foi coletada a parte aérea de 20 plantas/parcela com o objetivo de se avaliar a quantidade de Mn acumulada na planta.

O material vegetal foi preparado e as análises químicas visando determinar as concentrações de Mn, obedeceram ao método descrito por Bataglia et al. (1983).

As amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneira com abertura de malha de 2 mm e analisadas em duas etapas. Na primeira, as amostras foram analisadas para Mn “disponível”, empregando-se quatro soluções extratoras: a) DTPA (LINDSAY; NORVELL, 1978); b) Mehlich-1 (COX, 1968); Mehlich-3 (MEHLICH, 1984); d) HCl 0,1 mol L⁻¹ (WEAR; SOMMER, 1947). Após a agitação, as suspensões foram passadas por papel de filtro Whatman nº 42 para a obtenção dos extratos. Os teores de Mn foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (EAA).

A produção de grãos foi avaliada por meio da colheita das quatro linhas centrais da área útil de cada parcela, desprezando-se 0,50 m em cada extremidade das linhas.

Na segunda etapa das análises, as amostras de solo (doses: 0, 5, 8, 11 e 14 kg ha⁻¹ de Mn; fonte sulfato de manganês) foram submetidas a extrações sequenciais de Mn (frações trocável, orgânica, óxidos de Fe e Al cristalinos, óxidos de Fe e Al não cristalinos e residual), baseando-se no esquema desenvolvido por Shuman (1979; 1985) e adaptado por Consolini (1998).

As extrações foram realizadas sempre na mesma amostra, segundo métodos descritos em detalhes em Consolini (1998) e Borges e Coutinho (2004), sendo a determinação de Mn realizada em EAA.

Na Tabela 3 é apresentado o resumo do esquema de fracionamento.

Deve-se enfatizar que: a) a sequência de extrações foi realizada na mesma amostra, em tubos de centrífuga de polipropileno; b) após cada extração, as amostras foram agitadas com água deionizada, centrifugadas e o sobrenadante foi descartado; c) para o Mn na fração orgânica foram realizadas duas extrações com hipoclorito de sódio, sendo o teor total de Mn ligado à matéria orgânica obtido com a soma dos teores de cada extração; d) a extração da fração residual foi realizada em recipientes de teflon; e) em todos os métodos, após a agitação, as suspensões foram passadas por papel de filtro Whatman nº 42 para a obtenção dos extratos.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, segundo Banzatto e Kronka (2006). Foram realizadas análises de regressão polinomial e linear múltipla com seleção de variáveis por meio do método stepwise. Foi empregado o pacote estatístico SigmaStat, sendo que nos ajustes de regressão múltipla foram utilizadas variáveis que tiveram as suas entradas significativas ($p < 0,05$) no modelo.

Tabela 3. Métodos e sequencia de fracionamento do solo.

Etapa do fracionamento (Frações)	Solução	g solo / mL solução	Condições	Referência
1. Trocável	Mg(NO ₃) ₂ 1 mol L ⁻¹	10:40	Agitar por 2 horas	(Shuman, 1985)
2. Orgânica	NaOCl (pH 8,5) ≈ 0,7 mol L ⁻¹	10:20	Ferver por 30 min em banho-maria. Agitar ocasionalmente. Repetir a extração.	(Shuman, 1983)
3. Óxidos de Fe e Al menos cristalinos	NH ₂ OH.HCl 0,25 mol L ⁻¹ + HCl 0,25 mol L ⁻¹	1:50*	Agitar por 30 min a 50 °C em banho-maria	(Chao e Zhou, 1983)
4. Óxidos de Fe e Al cristalinos	(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ 0,2 mol L ⁻¹ em H ₂ C ₂ O ₄ 0,2 mol L ⁻¹ (pH 3,0) em ácido ascórbico 0,1 mol L ⁻¹	1:50	Ferver por 30 min em banho-maria. Agitar ocasionalmente.	(Shuman, 1982)
5. Residual ** e total	HF/HNO ₃ /HCl			(Shuman, 1979)

* 1,0 g de solo da etapa 2 seco, moído e peneirado (< 0,42 mm)

** 0,5 g de solo da etapa 4 seco, moído e peneirado (< 0,42 mm)

3.3. Delineamento, tratamentos e condução do Experimento II

O experimento foi conduzido segundo o delineamento em blocos casualizados, com um arranjo fatorial 4x3x3 dos tratamentos (quatro doses de Mn via foliar, três fontes de Mn e três cultivares de soja), com três repetições. As parcelas foram constituídas de seis linhas de 5 m de comprimento, espaçadas de 0,50 m, correspondendo uma área total de 15 m² e uma área útil de 10 m², pois as linhas externas da parcela foram desprezadas, representando a bordadura. As unidades experimentais foram separadas entre si por carregadores de 1 m de comprimento. O número total de parcelas foi de 108.

As cultivares de soja utilizadas foram: IAC Foscarim 31, BRS MG 68 (Vencedora) e M-Soy 8400. Segundo a EMBRAPA (2008), essas cultivares são pertencentes aos grupos de maturação precoce, médio e semitardio, respectivamente.

A adubação foliar com Mn foi realizada utilizando-se as fontes Mn-EDTA (6,0% de Mn; densidade = 1,30 g mL⁻¹; pH 5,10; mínimo de 50% de quelatização),

sulfato de manganês (29,5% de Mn) e cloreto de manganês (36% de Mn) obedeceu ao seguinte esquema:

F₀ – sem adubação foliar;

F₁ –**200 g ha⁻¹ de Mn** - uma aplicação com **30 dias após o plantio (DAP)**;

F₂ –**400 g ha⁻¹ de Mn** - duas aplicações de 200 g ha⁻¹ de Mn (30 DAP + 45 DAP);

F₃ –**600 g ha⁻¹ de Mn** - três aplicações de 200 g ha⁻¹ de Mn (30 DAP + 45 DAP + 60 DAP, correspondendo aproximadamente, aos estádios de desenvolvimento V4, V6 e V9, respectivamente).

Na primeira aplicação foram gastos 120 L ha⁻¹ de água, enquanto nas demais pulverizações foram gastos 200 L ha⁻¹ de água. Durante a aplicação foliar dos adubos, as parcelas adjacentes foram protegidas com lona plástica com objetivo de se evitar possível contaminação por deriva.

A semeadura das cultivares de soja foi realizada em 16/11/2010, inoculando-se previamente as sementes com *Bradyrhizobium japonicum* (250 g de inoculante turfoso por 50 kg de sementes). Todos os tratamentos receberam doses constantes de fósforo e potássio (80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O) e as fontes utilizadas foram o superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente.

Para avaliar o estado nutricional das plantas, foram coletadas as terceiras folhas (sem o pecíolo) de 30 plantas no florescimento (MALAVOLTA et al., 1997).

O material vegetal foi preparado e as análises químicas visando determinar os teores de Mn, obedeceu ao método descrito por Malavolta et al. (1997). Como a água destilada remove apenas uma pequena quantidade do micronutriente (principalmente cátions) retido na cutícula (CHAMEL; GAMBONNET, 1982), utilizou-se no processo de lavagem das folhas também uma solução de HCl 0,1 mol L⁻¹, além de uma solução diluída de detergente.

A produção de grãos foi avaliada por meio da colheita das quatro linhas centrais da área útil de cada parcela, desprezando-se 0,50 m em cada extremidade das linhas.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, e quando o teste F era significativo procedeu-se à aplicação do teste Tukey a 5% para a comparação das médias, segundo Banzatto e Kronka (2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO (Experimento I)

4.1. Efeito do manganês na planta

A produtividade de grãos e matéria seca (M.S.), Mn acumulado na parte aérea e as concentrações do micronutriente na folha e na parte aérea, em função de fontes e doses de manganês, além do resumo da análise de variância, estão apresentados na Tabela 4.

Com relação à produtividade (grãos e M.S.) e concentrações de Mn na folha e parte aérea, observou-se que houve efeito significativo para as fontes e doses de manganês empregadas; a interação doses x fontes de manganês, não mostrou significância estatística apenas para a produtividade de grãos.

Analisando a Tabela 4 e Figuras 1 e 2, pode-se observar que houve um aumento significativo da produção de soja (grãos e M.S.) quando houve o incremento das doses de Mn. Resultados semelhantes foram observados por Oliveira Junior et al. (2000) e Mann et al. (2001). Porém, Moreira et al. (2003) não observaram variação na produtividade com o incremento de Mn nos solos utilizados, nem para a maior dose utilizada (48 kg ha^{-1}), devido ao alto teor de MO no solo que complexou grande parte do Mn aplicado.

A produtividade máxima de grãos estimada de $4,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ foi obtida com a dose de $10,7 \text{ kg ha}^{-1}$ (fonte: sulfato de Mn), o dobro, se comparado com a dose recomendada (5 kg ha^{-1} de Mn) para solos deficientes no estado de São Paulo (RAIJ et al. 1997).

Pode-se observar na Tabela 1 um baixo teor inicial do micronutriente no solo o que, acarretou o incremento de grãos e M.S. com a adição do Mn no solo. São João (2006) e Abreu et al. (1995; 1996), também observaram aumentos na produção de M.S. com adição do micronutriente.

Tabela 4 – Produção de grãos, matéria seca, concentrações de Mn na planta de soja (parte aérea e folha diagnóstica) e acumulado na planta função da aplicação de doses e fontes de Mn.

Causas de Variação	Produção		Mn		
	grãos	M.S.	Folha	Parte aérea	Acumulado
Dose de Mn kg ha ⁻¹	-----Mg ha ⁻¹ -----		-----mg kg ⁻¹ -----		g ha ⁻¹
0	2,85	4,53	14	18	84,08
2	3,07	4,73	17	19	92,86
5	3,54	5,68	20	21	110,52
8	4,03	6,00	24	27	169,62
11	4,02	6,21	28	28	183,06
14	4,01	6,48	29	30	198,43
Teste F	10,85**	56,89**	34,94**	11,86**	8,98**
Fonte de Mn					
MnSO ₄	3,96	6,3	26,0	27,5	176,48
“Fritas”	3,21	4,9	18,2	20,8	103,04
Teste F (fonte)	33,21**	254,64**	86,12**	32,45**	29,39**
Teste F (Interação)					
Dose x Fonte	1,95 ^{NS}	18,91**	9,30**	2,56**	2,88*
CV %	12,5	5,35	13,4	16,8	21,68

** e ^{NS} - Significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Houve efeito significativo da interação doses x fontes, confirmando que as fontes de Mn utilizadas promoveram um aumento na produção da cultura (grãos e M.S.), na medida em que foram elevadas as doses (Figuras 1 e 2).

A fonte MnSO₄, por ser mais solúvel (água), do que a tipo “fritas”, foi mais eficiente na elevação da produção de grãos e matéria seca.

De acordo com Borkert (1991), em solos deficientes, qualquer fonte de manganês, altamente solúvel, pode ser usada para aumentar a disponibilidade de

Mn para as plantas. Segundo Abreu et al., (1996), produtos de alta solubilidade em água, após aplicados ao solo, difundem-se mais rapidamente para a região ao seu redor que aqueles de baixa solubilidade.

São João (2006) e Shuman et al. (1979), relataram que o fertilizante tipo “fritas” somente foi tão efetivo, na obtenção de produção, quanto aos fertilizantes mais solúveis, nas doses mais elevadas.

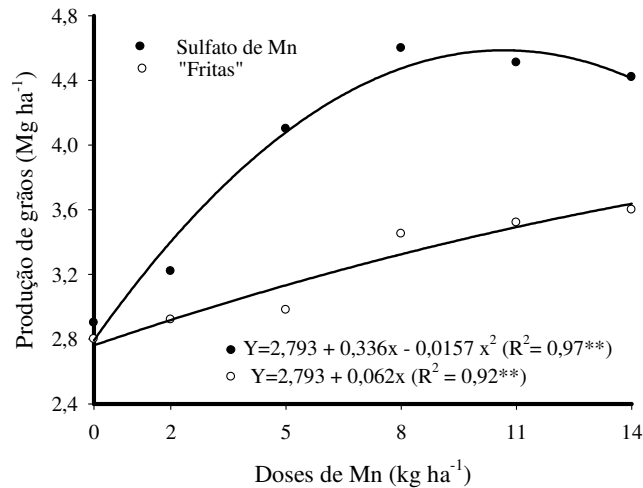


Figura 1 – Produção de grãos em função de doses e fontes de Mn.

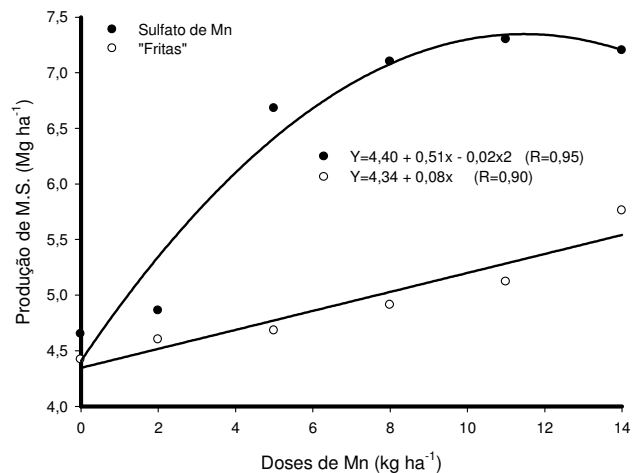


Figura 2 – Produção de matéria seca em função de doses de Mn.

A quantidade de nutrientes absorvida e acumuladas pelas plantas guarda relação direta com a capacidade de produção. Deste modo, analisando a tabela 4 e

as figuras 4, 5 e 6, observa-se que houve um aumento nas concentrações e quantidades do Mn absorvidos e acumulados nas folhas da planta na medida em que as doses de Mn aumentaram.

Para o Mn na folha, somente a testemunha apresentou uma concentração de 14 mg kg^{-1} , menor que 16 mg kg^{-1} de Mn, valor este considerado crítico por Mascagni Junior e Cox (1985b). Porém, não foi observado sintomas de deficiência do micronutriente.

O nível crítico foliar, responsável por 90% da produção máxima, foi de 27 mg kg^{-1} (Fig. 3). Resultados semelhantes foram apresentados por Leite et al. (2003), que relataram nível crítico de Mn na folha na ordem de 27 mg kg^{-1} , para a cultura do milho.

Hannam e Ohki (1988) relataram que, para que ocorram sintomas de deficiência em folhas de soja, tanto no estágio vegetativo quanto em pleno florescimento, na produção de matéria seca, o nível crítico seria em torno de 10 mg kg^{-1} de Mn; e para a produção de grãos, esses teores seriam entre 17 a 22 mg kg^{-1} .

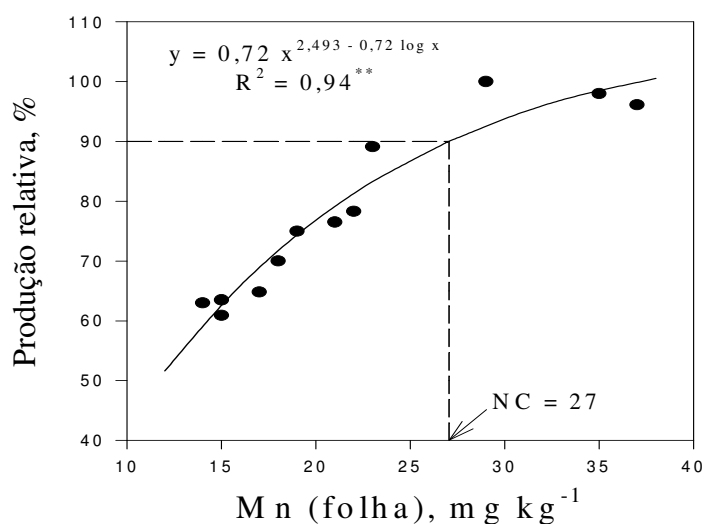


Figura 3 – Nível crítico de Mn nas folhas de soja.

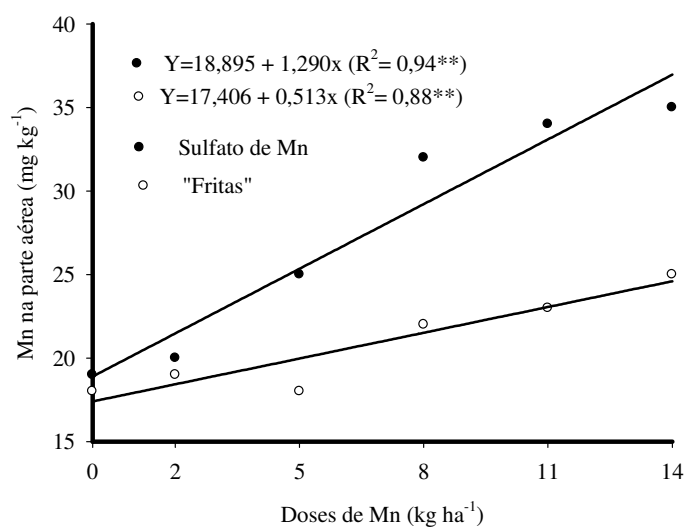


Figura 4 – Concentrações de Mn na folha em função de doses e fontes de Mn.

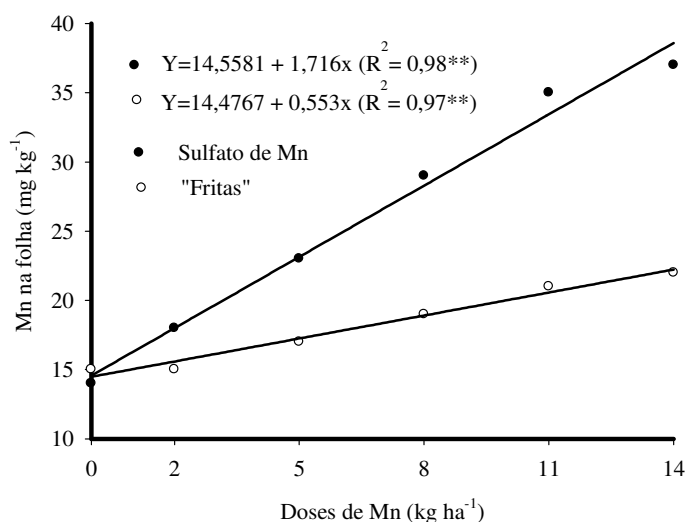


Figura 5 – Quantidades de Mn na parte aérea em função de doses e fontes de Mn.

Foi observada, resposta significativa para o acúmulo de Mn, tanto para dose, quanto para as fontes de Mn e os valores se ajustaram ao modelo quadrático (Figura 6). Leite et al. (2003) também observaram incrementos de acúmulo do micronutriente sob influência do incremento das doses testadas. São João (2006) também observou que a adição de Mn promoveu aumentos na concentração e na quantidade de Mn acumulado na parte aérea, em soja num Latossolo Vermelho distrófico típico.

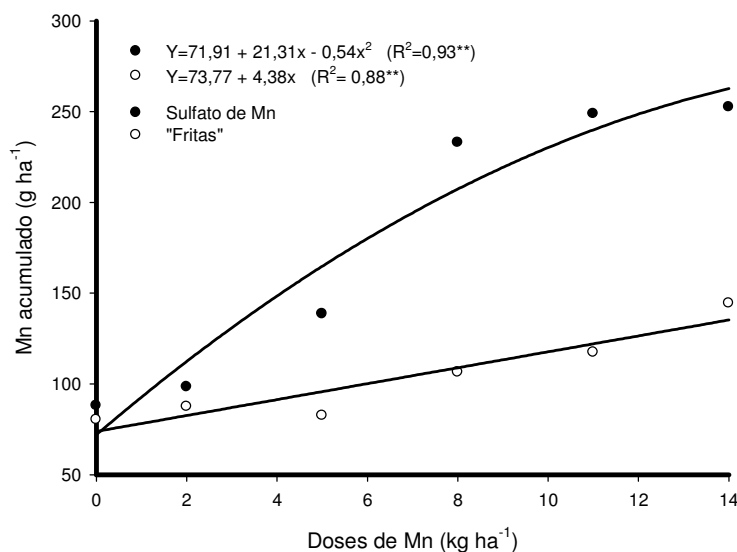


Figura 6 – Mn absorvido e acumulado na parte aérea das plantas em função de doses e fontes de Mn.

Os fertilizantes utilizados forneceram, em média, concentrações acima do considerado crítico para a planta, porém, o MnSO_4 conseguiu agregar maiores concentrações do microelemento na planta, comparado com o fertilizantes tipo "fritas". Nos dois casos, quanto maiores as doses dos fertilizantes, maiores foram as concentrações de Mn nas folhas. Porém, nenhuma das concentrações atingiram níveis de toxicidade, 720 mg kg^{-1} (SHUMAN; ANDERSON, 1974).

Essa diferença pode ser explicada pela menor solubilidade (em água) do fertilizante tipo "fritas" em relação ao sulfato de Mn. Fato também evidenciado por São João (2006), que observou maiores concentrações do micronutriente na parte aérea, quando utilizadas fontes mais solúveis em relação à "fritas". Portanto, entende-se que a maior parte do Mn contido no fertilizante "fritas" não estava numa forma prontamente disponível para as plantas e, o fato do fertilizante estar na forma granulada, provavelmente, reduziu a taxa de dissolução e solubilização do mesmo, em função da diminuição da superfície de contato com o solo.

De acordo com Lopes (1999) por serem insolúveis em água, as "fritas" são mais eficientes se aplicadas na forma de pó fino.

Salcedo et al. (1979) também obtiveram maiores respostas com aplicações de Mn no solo na forma de MnSO_4 . Abreu et al. (1996) também notaram um

comportamento superior do $MnSO_4$, quando comparado ao óxido de Mn, revelando teores de Mn na planta, em média, 29% mais elevados.

4.2. Efeito do manganês no solo

O aumento da disponibilidade do Mn no solo implica em aumento na parte aérea da planta, dessa forma se fez necessário, também, o conhecimento da quantificação do micronutriente no solo, feito por meio das soluções extratoras.

As concentrações de Mn no solo extraídos pelas soluções DTPA, Mehlich-1, Mehlich-3 e HCl, em função da aplicação de doses e fontes de Mn estão apresentadas na Tabela 5.

Quanto ao Mn no solo, todos os extratores (DTPA, Mehlich-1, Mehlich-3 e HCl) foram capazes de evidenciar o efeito significativos das fontes e doses de manganês aplicados.

Foi observado que, quanto maior a dose dos fertilizantes aplicados, maiores foram as quantidades de Mn extraídas pelas soluções extratoras.

A interação doses x fontes foi significativa, para todas as soluções extratoras, indicando que o efeito das doses foi diferente dentro de cada fonte considerada (Tabela 5 e Fig. 7 a 10).

No estudo de fontes de manganês dentro de doses desse nutriente, comparando-se as duas fontes utilizadas, notou-se que, de maneira geral, quando a fonte utilizada foi o sulfato de Mn, todos os extratores detectaram quantidades superiores de Mn no solo.

O fertilizante tipo “fritas” teve menor desempenho em relação ao sulfato de Mn, fato evidenciado também por Vale e Alcarde (1999) que trabalhando com diferentes fontes de Mn, observaram que o manganês foi pouco solubilizado nos fertilizantes tipo “fritas”.

A solução que conferiu maior extração foi a M-3, seguido de HCl, M-1 e DTPA, na maior dose aplicada. Isso deve ter ocorrido, provavelmente pelo caráter ácido das soluções M-3, HCl e M-1, que têm a capacidade de abaixar o pH e solubilizar o Mn, o que não ocorre com as soluções alcalinas como o DTPA que, segundo Norvell (1991), em condições moderadamente ácidas a alcalinas, pode quelatizar o Mn da solução, formando complexos (DTPA-Mn) de alta estabilidade.

De qualquer forma, a acidez das soluções extratoras (HCl e Mehlich-1) teve mais eficácia, na solubilização de uma maior quantidade do Mn aplicado, do que a capacidade do DTPA-TEA em quelatizá-lo.

Tabela 5 - Concentrações de Mn no solo (soluções extratoras: DTPA, M-1, M-3, HCl) em função da aplicação de doses e fontes de Mn.

Causas de Variação	Mn (solo)			
	DTPA	M-1	M-3	HCl
Dose de Mn kg ha ⁻¹	-----mg kg ⁻¹ -----			
0	0,41	0,77	0,65	0,81
2	0,53	0,95	1,28	1,12
5	0,82	1,58	2,18	1,94
8	1,11	2,30	3,26	2,97
11	1,51	3,11	4,34	4,02
14	1,93	3,69	5,19	4,88
Teste F (dose)	128,32**	60,22**	84,84**	134,99**
Fonte de Mn				
MnSO ₄	1,58	3,15	4,51	4,12
“Fritas”	0,52	0,97	1,19	1,12
Teste F (fonte)	620,83**	312,97**	474,08**	688,51**
Teste F (Interação)				
Dose x Fonte	75,41**	39,11**	52,26**	84,81**
CV %	14,0	20,8	18,5	15,1

** e ^{NS} - Significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Moreira et al. (2006), também verificaram que, em todas as situações, propostas em seu estudo, as soluções ácidas HCl 0,1 mol L⁻¹ (pH \cong 1,1) e Mehlich-1 (pH \cong 1,2) extraíram maiores quantidades de Mn do que a solução DTPA-TEA pH 7,3. Fato também evidenciado por Rodrigues et al. (2001), que relataram

superioridade da solução Mehlich-3, que extraiu uma maior quantidade do micronutriente do solo que as soluções DTPA-TEA e Mehlich-1.

Abreu et al. (2004), também relataram maior extração do Mn pelas soluções, ácida (Mehlich-1) e mista (ácida/quelante - Mehlich-3), comparadas com as soluções quelantes (AB-DTPA e DTPA) e que a resina de troca iônica, no solo cultivado com soja. A maior extração pelas soluções, ácida e mista, pode ser devida à sua maior capacidade em solubilizar o Mn ligado aos óxidos de Fe.

Pode-se observar nas figuras 7 a 10 que todas as soluções foram capazes de diferenciar as fontes de Mn, sempre o $MnSO_4$ sendo mais capaz em fornecer o Mn que o fertilizante tipo “fritas”, provavelmente pela sua menor solubilidade em relação ao sulfato de manganês.

De acordo com os coeficientes angulares das equações (Figuras 7 a 10), ficou evidenciada a maior capacidade do extrator Mehlich-3 em recuperar o micronutriente aplicado no solo, principalmente quando a fonte utilizada foi o sulfato de Mn, onde os extratores DTPA, M-1, HCl e M-3 recuperaram 19%, 39%, 54% e 57% para a fonte sulfato de Mn, e 2%, 4%, 6% e 6% para a fonte “tipo fritas”, respectivamente.

Mehlich (1984) relatou que a inclusão do EDTA na solução extratora, tal como o Mehlich-3, tem por objetivo melhorar a extração de micronutrientes do solo, o que foi confirmado no presente trabalho.

Já para os níveis críticos (NC) de Mn no solo, que fornecem informações sobre a possibilidade de resposta da planta à adubação com Mn, os extratores DTPA, M-1, M-3 e HCl, detectaram 1,21; 2,22; 3,58; e 3,04 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente (Figura. 11). (SHUMAN et al., 1980) relataram níveis críticos de Mn no solo para a soja utilizando os extratores M-1 e DTPA foram de 2,6 e 0,2 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente, demonstrando então, a diferença de NC, entre extratores, para um mesmo solo.

O Mn disponível no solo depende, principalmente, do material de origem e de alguns fatores como o pH, a matéria orgânica e a textura dos solos (VALADARES; CAMARGO 1983). Fatores, que podem diferenciar os níveis críticos em diferentes solos. Mascagni Junior e Cox (1985a), determinaram níveis críticos de Mn no solo,

na condução de experimento de campo na cultura da soja, utilizando o extrator M-1, de 4,7 e 9,7 mg dm⁻³, para os pHs do solo 6,0 e 7,0, respectivamente.

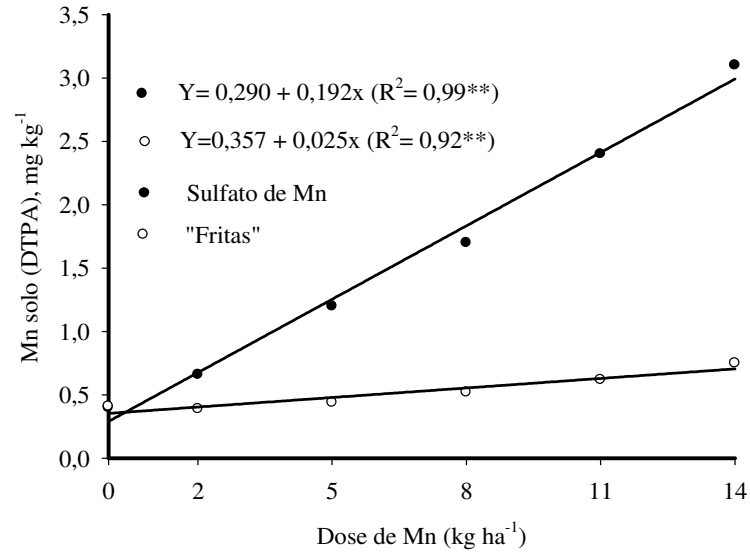


Figura 7 – Concentrações de Mn no solo extraído pela solução DTPA.

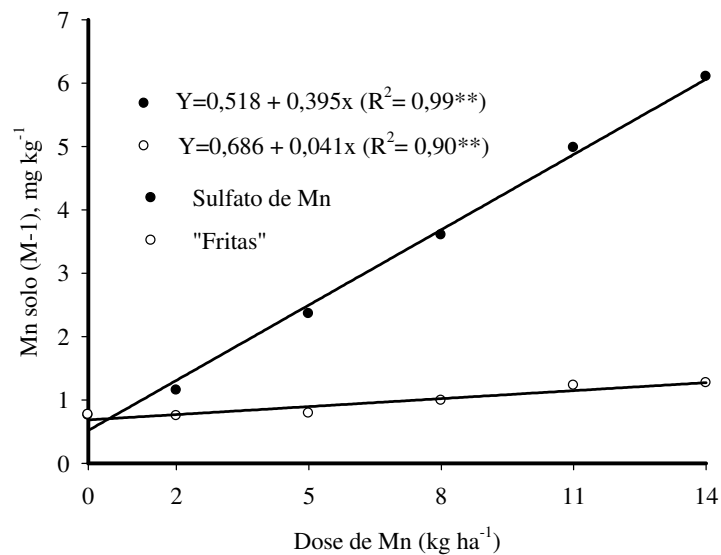


Figura 8 – Concentrações de Mn no solo extraído pela solução M-1.

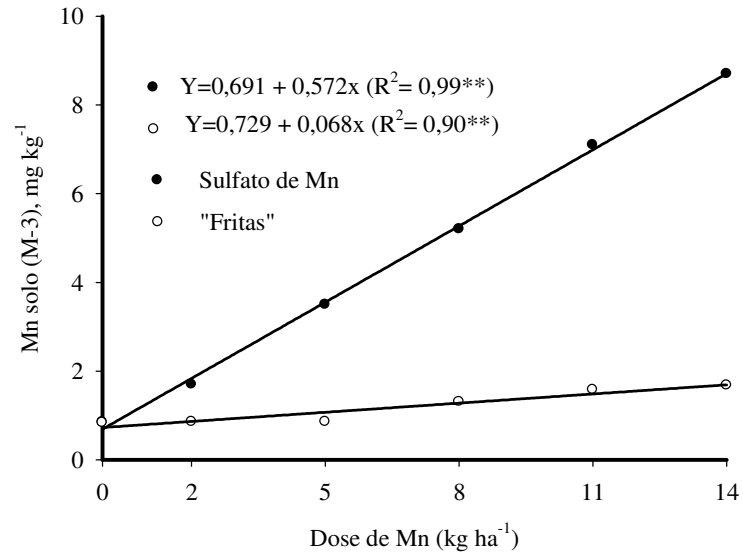


Figura 9 – Concentrações de Mn no solo extraído pela solução M-3.

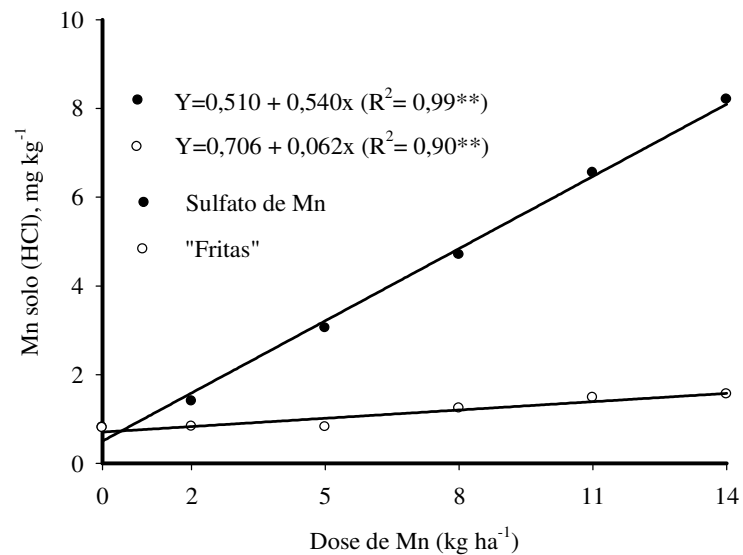


Figura 10 – Concentrações de Mn no solo extraído pela solução HCl.

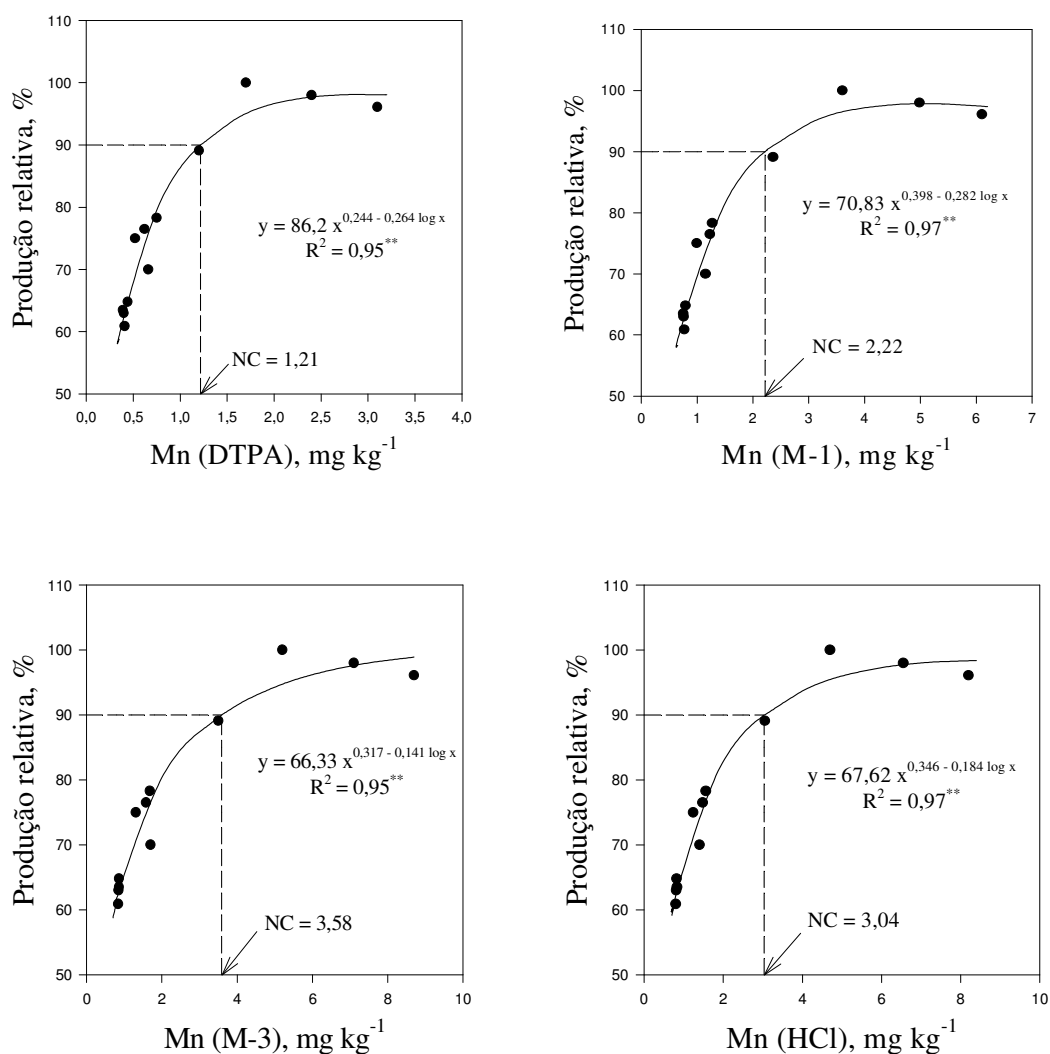


Figura 11 - Nível crítico de Mn no solo em função das soluções extratoras utilizadas.

4.3. Extração sequencial do Mn no solo

Apesar da superioridade da solução Mehlich-3, em recuperar o Mn do solo, quando comparada às outras soluções, não é correto afirmar que, a mesma, é a melhor solução, pois o sucesso de um extrator está relacionado com a sua capacidade de extrair o micronutriente das frações (reservatórios) responsáveis pelo seu fornecimento às plantas (SHUMAN, 1986; SIMS, 1986). Por isso, as informações adquiridas, com as soluções extratoras, podem ser melhor

aproveitadas, quando em conjunto com as informações originadas a partir da extração sequencial ou fracionamento.

Na Tabela 6 constam os teores de Mn nas diferentes frações do solo em função das doses de Mn aplicadas.

Em termos gerais, pode-se constatar que para todos os tratamentos a maior parte do Mn se encontra na fração residual, corroborando dados encontrados na literatura (TAZISONG et al., 2004; MOREIRA et al., 2006).

Com a adição de doses crescentes de Mn, verificou-se que houve aumento significativo do teor Mn apenas para as frações trocável e orgânica.

Semelhante a este estudo, Chimello (2001) e Moreira et al. (2006) não observaram aumento dos teores de Mn na fração residual, após a aplicação do micronutriente.

Tabela 6 – Teores de manganês nas diferentes frações do solo em função das doses de Mn aplicadas.

Causas de variação	Trocável	MO	Óxido de Fe e Al não Cristalino	Óxido Fe e Al Cristalino	Residual
Doses de Mn kg ha ⁻¹	-----mg kg ⁻¹ -----				
0	0,61	0,65	5,80	9,40	24,00
5	0,79	0,66	6,35	10,00	23,40
8	1,27	0,99	6,70	11,44	22,00
11	1,41	1,32	7,10	11,50	22,67
14	1,82	1,62	7,37	12,30	22,49
Teste F	153,50 ^{**}	53,58 ^{**}	0,74 ^{ns}	1,13 ^{ns}	0,11 ^{ns}
CV %	6,66	11,01	21,60	20,91	26,48

^{**} e ^{NS} - Significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Com a extração sequencial, verificou-se que os teores de Mn na fração trocável aumentaram em função da dose aplicada. Os teores foram elevados de 0,61 mg kg⁻¹ a 1,82 mg kg⁻¹, para a testemunha e para aplicação da maior dose, respectivamente.

Moreira et al. (2006), também observaram aumento gradativo em função das doses para esta fração.

Na fração orgânica, foram encontrados resultados semelhantes aos da fração trocável, onde os teores de Mn se elevaram de 0,65 mg kg⁻¹, (testemunha) para 1,62 mg kg⁻¹, (maior dose). Moreira et al. (2006) também observaram associação do Mn à fração orgânica, provavelmente em virtude dos altos teores de MO de solos submetidos ao sistema de semeadura direta, porém, o micronutriente se encontrava em formas estáveis, não disponíveis às plantas.

Não foi observada variação significativa nas outras frações (óxido de Fe e Al não cristalino, óxido de Fe e Al cristalino e residual).

Pode-se observar nas figuras 12 e 13, que as maiores quantidades de Mn aplicadas foram recuperadas nas frações trocável e matéria orgânica. Nascimento et al. (2002), também verificaram que com a aplicação de Mn no solo, o micronutriente foi retido principalmente nas frações trocável e matéria orgânica.

Oliveira e Nascimento (2006) relataram que mesmo com o baixo teor inicial de Mn no solo, ficou evidenciada a necessidade de maiores doses do fertilizante para a correção da deficiência do micronutriente nesse tipo de solo.

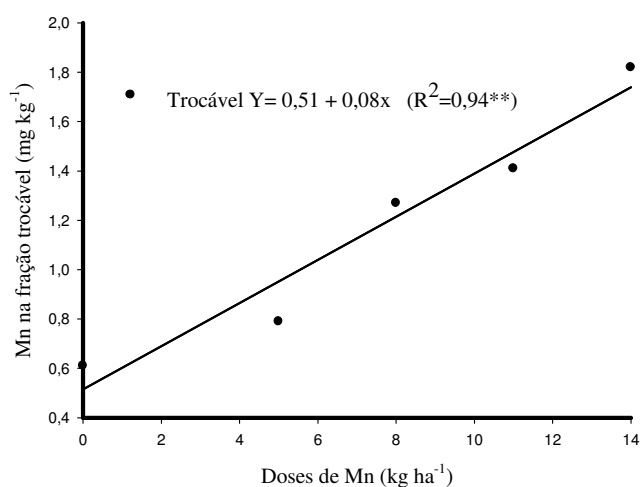


Figura 12 – Teor de Mn na fração Trocável em função de doses de Mn.

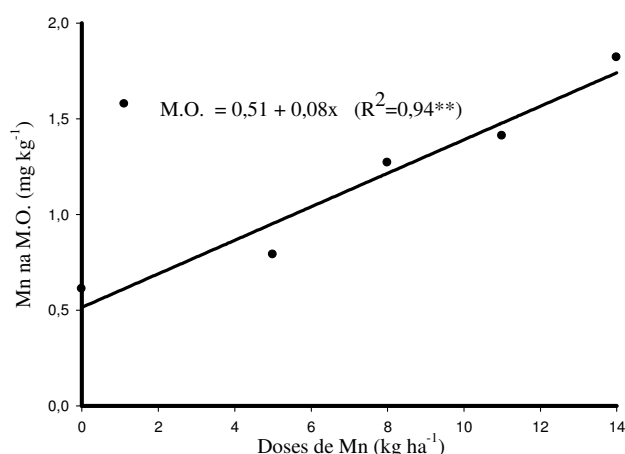


Figura 13 – Teor de Mn na fração Matéria Orgânica em função de doses de Mn.

A estimativa das frações, das quais as plantas retiram o micronutriente, pode ser obtida a partir dos resultados do fracionamento, evidenciando quais as frações disponíveis às plantas e quais as soluções extratoras tem mais afinidade com o Mn da fração "disponível" em questão.

Para tanto, foram realizadas análises de regressão múltipla das quantidades de Mn acumuladas na parte aérea da soja, e do teor de Mn no solo extraído pelas soluções DTPA, M-1, M-3 e HCl em função dos teores deste micronutriente nas frações do solo.

Na tabela 7 estão as equações de regressão múltipla das frações da quantidade do Mn acumulado na soja e do teor do Mn no solo (DTPA, M-1, M-3 e HCl) em função dos teores do micronutriente nas frações do solo.

Tabela 7 - Relação entre a quantidade de Mn acumulado na parte aérea da soja e do Mn "disponível" em função do micronutriente nas frações do solo.

Variável dependente	Equação	R ²
Mn acumulado	$y = 46,704 + 128,449 \text{ Mn trocável}$	0,52***
Mn-DTPA	$y = - 0,66 + 2,051 \text{ Mn trocável}$	0,93***
Mn- M-1	$y = - 1,33 + 4,144 \text{ Mn trocável}$	0,90***
Mn - M-3	$y = - 1,877 + 5,887 \text{ Mn trocável}$	0,85***
Mn-HCl	$y = - 2,029 + 5,67 \text{ Mn trocável}$	0,92***

*** - significativo a 0,1% de probabilidade.

De acordo com as regressões, o acúmulo de Mn foi associado com a fração trocável do solo, indicando que, provavelmente, a planta tenha absorvido o Mn, principalmente, dessa fração. São João (2006), também observou que o Mn acumulado na planta esteve associado à fração trocável. Porém, Borges e Coutinho (2004), trabalhando com a cultura do milho em um solo argiloso, observaram que a planta pode retirar o Mn das frações trocável e matéria orgânica.

Todas as soluções extratoras foram capazes de se relacionar com a fração trocável, segundo as equações de regressão múltipla (Tabela 7). Contudo, Borges e Coutinho (2004), verificaram que as frações trocável e matéria orgânica foram relacionadas com o extraído pelas soluções DTPA, M-1, M-3 e HCl.

Não foram inclusas nos modelos, as frações óxido de Fe e Al não Cristalino e Fe e Al Cristalino, indicando que essas não foram associadas com o acumulado na planta nem no extraído nas soluções.

Segundo Shuman (1986) e Oliveira e Nascimento (2006), a fração trocável é a principal forma de Mn disponível nos solos.

Moreira et al. (2006), observou que grande parte do Mn do solo, extraído pelos diversos extratores, utilizados em seu estudo, podem não estar disponível às plantas, mas associado à MO. Fato observado por Borkert et al. (2001), os quais descreveram uma diminuição da disponibilidade microelemento, que pode se complexar com a matéria orgânica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO (Experimento II)

5.1. Efeito da adubação via foliar na planta

A produtividade de grãos, as concentrações de Mn nas folhas, assim como o resumo da análise de variância, estão apresentados na Tabela 8.

Para o incremento em produção de grãos de soja, houve diferença entre as doses, mostrando ganho linear conforme o aumento das doses. Isso pode ser explicado em função da aplicação de Mn ter influenciado de forma benéfica, tendo em vista os baixos teores iniciais de Mn no solo (Tabela 1), aliado a exigência da cultura pelo referido micronutriente.

Com o aumento das doses e épocas de aplicação de Mn, foi aumentada, por consequência, a produção de grãos. A diferença entre a produtividade média das testemunhas e a maior produtividade foi de $1,56 \text{ Mg ha}^{-1}$, correspondente a um acréscimo de 53%. Resultado semelhante ao relatado por Mann et al. (2001), que, quando fez o parcelamento das duas doses de Mn (450 e 600 g ha^{-1} de Mn) nos estádios V4 e V8, constataram um aumento equivalente a 1.291 kg e 1.431 kg ha^{-1} , correspondente a um acréscimo de 55 e 61%, respectivamente. Oliveira Junior (1996) também relataram resultados semelhantes aos obtidos neste experimento no que diz respeito à menor produção da soja em situação de deficiência de Mn.

A produção máxima alcançada neste experimento foi de $4,48 \text{ Mg ha}^{-1}$, na maior dose aplicada, que foi a de 600 g ha^{-1} , dividido em três aplicações de 200 g ha^{-1} de Mn nos estádios de desenvolvimento V4, V6 e V9. Porém, Mann et al. (2001), mostraram uma produção máxima de 3.422 kg ha^{-1} na dosagem estimada de $394,76 \text{ g ha}^{-1}$ de Mn, aplicada no estádio V8, que correspondeu a uma concentração foliar de 22 mg kg^{-1} , e concluíram que, nessas condições, foi estádio mais adequado para a aplicação de Mn via foliar.

Tabela 8 - Produção de grãos e concentrações de Mn na folha em função da aplicação de doses e fontes de Mn e diferentes cultivares de soja.

Causa de variação	Produção de grãos	Mn (Folha)
"Dose" de Mn (g ha^{-1})	--- Mg ha^{-1} ---	--- mg kg^{-1} ---
0	2,92c	12d
200	3,16c	18c
400	3,60b	33b
600	4,48a	47a
Teste F (doses)	46,52**	263,58**
DMS 5%	0,37	3,6
Fontes de Mn		
Sulfato de Mn	3,54a	25b
Mn- EDTA(Quelato)	3,50a	24b
Cloreto de Mn	3,59a	33a
Teste F (fontes)	0,26 ^{NS}	31,51**
DMS 5%	0,29	2,8
Cultivar		
IAC Foscarin 31	3,47a	28a
BRS MG 68 (Vencedora)	3,60a	28a
M-Soy 8400	3,54a	27a
Teste F (cultivar)	0,55 ^{NS}	0,24 ^{NS}
DMS 5%	0,30	2,8
Teste F (interação)		
"Dose" x Fonte	0,29 ^{NS}	6,64**
"Dose" x Cultivar	0,99 ^{NS}	0,10 ^{NS}
Fonte x Cultivar	0,06 ^{NS}	0,26 ^{NS}
"Dose" x Fonte x Cultivar	0,07 ^{NS}	0,26 ^{NS}
C.V. %	14,7	18,2

** e ^{NS} - Significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Oliveira Junior et al. (2000), evidenciaram, a partir do seu trabalho, um aumento significativo no número de vagens, quando o Mn foi aplicado via foliar,

observando também, maiores concentrações de Mn na folha, na faixa de 150 a 350 mg kg⁻¹.

Quando se aplicou a “dose” de 600g ha⁻¹ (30 + 45 + 60 DAP), para todas as fontes testadas, observou-se incremento do micronutriente nas folhas, isso pode ser explicado, provavelmente, pelo parcelamento feito na aplicação, pois o Mn tem pouca mobilidade na planta, e é requerido pelas folhas mais jovens, em crescimento, que pode ser suprido pelas segunda e terceira aplicações, acordando com estudos realizados em soja por Mann et al. (2001) e com Boaretto et al. (2003), que ao trabalharem com laranjeira, concluíram que adubação foliar com micronutrientes, Zn, Mn e B, pode ser uma alternativa eficiente no fornecimento às folhas que foram pulverizadas, porém é insuficiente para alterar o teor nas folhas novas que nascem após essa pulverização.

A importância do parcelamento é ressaltada por Mann et al. (2001), que observaram que, quando as aplicações foram realizadas sem parcelamento, na maior dosagem, houve alta concentração de Mn no tecido foliar, provocando fitotoxidez, acarretando, provavelmente a redução da taxa fotossintética e queda de produtividade.

Como podem ser observadas na tabela 8, as concentrações de Mn na folha, nos tratamentos, testemunha (sem Mn) e 200 g ha⁻¹ de Mn, para as fontes sulfato de Mn e Mn-quelato, alcançaram teores abaixo do nível crítico (20 mg kg⁻¹). Níveis que, segundo Malavolta et al. (1997), são considerados limitantes para o desenvolvimento e produção da soja, pois desempenha papel fundamental na alongação celular.

O baixo teor inicial do micronutriente no solo (Tabela 1) e a pouca redistribuição do Mn na planta, são prováveis explicações para a menor concentração nas folhas.

Foram observados sintomas de deficiência nas plantas de soja nos estádios iniciais (V3 e V4). Mann et al. (2001), também relataram sintomas de deficiência de manganês para a soja no estádio V4, que apresentaram concentrações de Mn na planta considerados baixos (20 mg kg⁻¹).

Oliveira Junior et al. (2000), por outro lado, observaram sintomas de deficiência nos estádios V2 e V3.

Tabela 9 - Desdobramento da interação dose x fonte para Mn na planta.

Fontes	"Doses" (g ha ⁻¹) / Épocas de aplicação			
	0	200	400	600
	0 DAP ⁽¹⁾	30 DAP	30 + 45 DAP	30 + 45 + 60 DAP
Sulfato de Mn	12Ac ⁽²⁾	15Ac	29Bb	41Ba
Mn-EDTA	12Ac	17Ac	28Bc	43Ba
Cloreto de Mn	12Ad	21Ac	43Ab	57Aa

(1) DAP – Dias após plantio.

(2) Médias, na coluna, seguidas pela mesma letra maiúscula entre fontes e, minúscula entre as "doses", não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A fonte cloreto de Mn proporcionou maiores concentrações, em relação ao Sulfato de Mn e o Mn-EDTA, que não diferiram, estatisticamente, uma da outra.

A alta concentração de Mn na folha decorrente da aplicação de MnCl₂ pode ser explicado pelo fato do MnCl₂ ser menos retido na cutícula, sendo mais aproveitado pela folha em relação ao MnSO₄ que, segundo Ferrandon e Chamel (1988), parte dele não é efetivamente absorvida pela folha e pode ficar retida na barreira cuticular. Enquanto o Mn-EDTA praticamente não apresenta retenção, porém é mais sujeito a lavagem por chuvas logo após a aplicação.

Ferrandon e Chamel (1989) também não observaram diferenças significativas entre o MnSO₄ e o Mn – EDTA na absorção pelas plantas. Já Boaretto et al. (2000) também observaram uma maior concentração de Mn nas folhas de milho quando se aplicou Mn contendo cloreto em relação a outras fontes como o sulfato e o EDTA.

Da mesma forma, Silva et al. (1997), em trabalho realizado com citros, relataram uma maior absorção de Mn pelas folhas quando utilizados tratamentos com compostos contendo Cl⁻, em relação ao nutriente aplicado na forma de sulfato ou quelato.

Não houve efeito significativo para as cultivares e para as interações dose x cultivar, fonte x cultivar e dose x fonte x cultivar, indicando que existe semelhança entre os cultivares com relação à resposta ao nutriente.

Abreu et al (1994) também observaram respostas semelhantes, em resposta à adubação com Mn de todas as cultivares estudadas.

Segundo Lavres Júnior et al. (2008), quando há variação na absorção de Mn por diferentes cultivares, isso provavelmente se dá por diferenças genotípicas quanto à absorção, transporte ou distribuição do Mn na planta.

6. CONCLUSÕES

a) Houve aumento significativo na produção de soja (grãos e M.S.) com o incremento das diferentes fontes e doses de Mn, sendo a melhor dose via solo foi a de 8 kg ha^{-1} e a foliar foi a de 600 g ha^{-1} subdivididas em três épocas de aplicação.

b) Para a aplicação via solo a fonte MnSO_4 foi mais eficiente na elevação da produção de grãos em relação à do tipo “fritas”.

c) As frações, trocável e matéria orgânica, foram as que o Mn mais se associaram, após a sua aplicação.

d) O acúmulo de Mn no solo foi associado com a fração trocável, indicando que, provavelmente, a planta tenha absorvido o Mn, principalmente, dessa fração.

e) Todas as soluções extratoras foram capazes de se relacionar com a fração trocável.

f) Para todas as fontes via foliar, foi notado um incremento do micronutriente nas folhas, proporcionando também um aumento na produção de grãos, porém foi observado, que a fonte cloreto de Mn, proporcionou maiores concentrações.

7. AGRADECIMENTOS

À CAPES e a FAPESP (Processo n.º 2010/14629-0) pelas bolsas concedidas durante os 3 e 17 meses, respectivamente.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A.; NOVAIS, R. F.; RAIJ, B. van; RIBEIRO, A.C. Influência da reação do solo na extração de manganês por diferentes extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.91-99, 1994a.

ABREU, C. A.; NOVAIS, R. F.; RAIJ, B. van; RIBEIRO, A.C. Comparação de métodos para avaliar a disponibilidade do manganês em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p. 81-90, 1994b.

ABREU, C. A.; RAIJ, B. van; ABREU, M. F.; PAZ GONZALEZ, A. Avaliação da disponibilidade de manganês e ferro em solos pelo uso do método modificado da resina de troca iônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 579-584, 2004.

ABREU, C.A.; RAIJ, B. van; TANAKA, R.T. Comportamento de cultivares de soja em solo deficiente em manganês. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.149-152, 1995.

ABREU, C. A.; RAIJ, B. van; TANAKA, R. T. Fontes de manganês para soja e seus efeitos na análise do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.91-97, 1996.

ALLOWAY, B.J. The origins of heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B.J. (Ed.). **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley e Sons, 1990. p.29-39.

BANZATTO, D.A; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 236 p.

ALVAREZ, C. Utilização de quelatos em adubação foliar. In: BOARETTO, A. E.; ROSOLEM, C. A., (Coords.), **Adubação foliar**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. V.1., p.177-189.

BIBAK, A. Cobalt, copper, and manganese adsorption by aluminium and iron oxides and humic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, p.3229-3239, 1994.

BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T. Adubação foliar: problemas e perspectivas. In: Fertilizantes: Insumo básico para Agricultura e Combate à Fome. Anais do Simpósio. Petrolina, PE. EMBRAPA-CPATSA/SBCS, 1995. p. 124-165.

BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T. Fontes de manganês aplicadas via foliar em laranjeira e milho. Relatório Final de Pesquisa, Piracicaba, 1997. 31 p.

BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; BOARETTO, R. M..Absorção e translocação de micronutrientes, aplicados via foliar, pelos citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v.24, n.1, p.177-197, 2003. (Artigo técnico)

BOARETTO, A.E., MURAOKA, T., NASCIMENTO, V.F., BOARETTO, R.M. Foliar absorption of ^{54}Mn and its translocation in orange and corn plants. In: International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition, X, Cairo, 2000. Abstracts, IAOPN, Cairo, 2000. p. 230-231.

BORGES, M.R.; COUTINHO, E.L.M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. I- Fracionamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.543-555, 2004.

BORKERT, C.M.; PAVAN, M.A. & BATAGLIA, O.C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van e ABREU, C.A., eds. **Micronutrientes elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.151-186.

BORKERT, C.M. Manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba : Potafos/CNPq, 1991. p.173-189.

CHAMEL, A.; GAMBONNET, B. Study with isolated cuticles of the behavior of zinc applied to leaves. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v.5, p.153-171, 1982.

CHAO, T.T.; ZHOU, L. Extraction techniques for selective dissolution of amorphous iron oxides from soils and sediments. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p.225-232, 1983.

CHIMELLO, M. A. **Efeito do pH do solo e da aplicação de manganês na distribuição e disponibilidade do micronutriente para a soja (*Glycine max.*(L.) Merrill)**. 2001. 107 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração: Ciência do Solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2001.

CONSOLINI, F. **Distribuição e disponibilidade das frações de zinco em alguns solos do estado de São Paulo**. 1998. 80 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1998.

COUTINHO, E. L. M.; OLIVEIRA, A. J.; CONSOLINI, F. Efeitos do pH do solo na disponibilidade de manganês para dois cultivares de soja. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS (FERTIBIO), Caxambu, 1998. **Resumos...** SBCS. 1998. p. 353.

COUTINHO, E.L.M.; CONSOLINI, F.; CHIMELLO, M.A.; COUTINHO NETO, A.M.; SILVA, A.R. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese. **Agrochimica** (Pisa), 2010.

COUTINHO, E.L.M.; SÃO JOÃO, A.C.G. Efeitos de doses e fontes de manganês para a soja cultivada em diferentes solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO., 2009, Fortaleza-CE. **Resumos Expandidos...** Fortaleza-CE: SBCS, 2009. CD-ROM.

COX, F.R. Development of a yield response prediction and manganese soil test interpretation for soybean. **Agronomy Journal**, v.60, p.521-524, 1968.

DEFILIPPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. Análise química do solo (Metodologia – 2ª edição). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997.

EMBRAPA SOJA. Sistemas de Produção, 13, Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2009 e 2010, Londrina, PR 2008. 261p.

FAGERIA, V.D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, p.1269-1290, 2001.

FERRANDON, M.; CHAMEL, A. R. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn, and Zn supplied in organic and inorganic form. **Journal of Plant Nutrition**, v.11, p.247-263, 1988.

FERRANDON, M., CHAMEL, A. Foliar uptake and translocation of iron, zinc and manganese. Influence of chelating agents. **Plant Physiol. Biochem.**, 27: 713-722. 1989.

GETTIER, S. W.; MANTENS, D. C.; HALLOCK, D. L.; STEWART, M. J. Residual mn associated soybean yield response from $mnsO_4$ application on sandy loam soil. **Plant Soil**, v.81, p.101-110, 1984.

HANNAM, R.J.; OHKI, K. Detection of manganese deficiency and toxicity in plants. In: GRAHAM, R.D.; HANNAM, R.J.; UREN, N.C. (Ed.). **Manganese in soils and plants**. Dordrecht : Kluwer Academic, 1988. p.243-260.

HARTER, R.D. Micronutrient adsorption-desorption reactions in soils. In: MORTVERDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M., eds. Micronutrients in the agriculture, Madison, **Soil Science Society of America**, 1991. p.59-88.

LAVRES JÚNIOR, J.; MORAES, M. F.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Influência genotípica na absorção e na toxidez de manganês em soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 173-181, 2008.

LEITE, U. T.; AQUINO, B. F.; ROCHA, R. N. C.; SILVA, J. Níveis críticos foliares de boro, cobre, manganês e zinco em milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.19, n. 2, p. 115-125, 2003.

LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. **Soil Science Society of America Journal**, v.42, p.421-428, 1978.

LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica**. São Paulo: Anda, 1999. (Boletim técnico, 8).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estágio nutricional das plantas. Princípios e aplicações. 2a. edição. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MANN, E. N.; REZENDE, P. M.; CARVALHO, J. G.; CORRÊA, J. B.D. Efeito da adubação com manganês, via solo e foliar em diferentes épocas na cultura da soja *Glycine max* (L.) Merrill]. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 25, n. 2, p. 264-273, 2001.

MANN, E. N.; RESENDE, P. M.; MANN, R. S.; CARVALHO, J. G.; VON PINHO, E. V. R. Efeito da aplicação de manganês no rendimento e na qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1757-1764, 2002.

MASCAGNI JUNIOR, H.J.; COX, F.R. Calibration of manganese availability index for soybean soil test data. **Soil Science Society of America Journal**, v.49 p.382-386, 1985a.

MASCAGNI JUNIOR, H.F.; COX, F.R. Effective rates of fertilization for correcting manganese deficiency in soybeans. **Agronomy Journal**, v.77, p.363-366, 1985b.

MASCARENHAS, H.A.A.; MIRANDA, M.A.C.; TANAKA, R.T.; FALIVENE, S.M.P.; DECHEN, A.R. Comportamento de cultivares precoces de soja em solução nutritiva contendo diferentes níveis de manganês. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, p.609-615, 1990.

MASCARENHAS H. A. A.; TANAKA R. T.; MIRANDA M. A. C.; CARMELLO Q. A. C.; OLIVEIRA F. Á. Linhagem de soja tolerante a alto teor de manganês. **Bragantia**, Campinas, v.54, n. 2, p. 267-271, 1994.

McBRIDE, M.B. Environmental chemistry of soils. New York, Oxford University Press, 1994. 406p.

MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractant. Comm. **Soil Science and Plant Analysis**, v. 15, p. 1409- 1416, 1984.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; HEINRICHS, R.; TANAKA, R. T. Influência do magnésio na absorção de manganês e zinco por raízes destacadas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 95-101, jan. 2003.

MOREIRA, S.G.; PROCHNOW, L.I.; KIEHL, J.C.; NETO, L.M.; PAULETTI, V. Formas químicas, disponibilidade de manganês e produtividade de soja em solos sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.121-136, 2006.

MUKHOPADHYAY, M.J.; SHARMA, A. Manganese in cell metabolism of higher plants. **Botanical Review**, v. 57, p. 117-149, 1991.

MURAOKA, T.; NEPTUNE, A.M.L.; NASCIMENTO FILHO, V.F. Avaliação da disponibilidade de zinco e manganês do solo para o feijoeiro. II. Manganês **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.177-182, 1983.

NACHTIGALL G. R.; NOGUEIROL, R. C.; ALLEONI L. R. F. Extração seqüencial de Mn e Zn em solos em função do ph e adição de cama-de-frango. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.240–249, 2009.

NASCIMENTO, C.W.A. ET AL. NASCIMENTO, C. W. A.; LEITE, P. V. V.; NASCIMENTO, R. S. M. P.; MELO, É. E. C. Dessorção, extração e fracionamento de manganês em latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.589-597, 2002.

NORVELL, W.A. Reactions of metal chelates in soils and nutrient solutions. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., eds. Micronutrients in agriculture. Madison, **Soil Science Society of America**, 1991. p.187-228.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; SEDIYAMA, T. Deficiência de manganês em plantas de soja cultivadas em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.199-204, 1989.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. 1.ed. Viçosa: UFV-DPS, 1999. 399p.

OHKI, K. Manganese deficiency and toxicity effects on growth, development, and nutrient composition in wheat. **Agronomy Journal**, v.76, p.213-218, 1984.

OLIVEIRA, A.B.; NASCIMENTO, C.W.A. Formas de manganês e ferro em solos de referência de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.99-110, 2006.

OLIVEIRA JUNIOR J.A.; MALAVOLTA, E.; PEREIRA, C. CABRAL. Efeitos do manganês sobre a soja cultivada em solo de cerrado do triângulo mineiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.8, p.1629-1636, ago. 2000.

OLIVEIRA JUNIOR, J. A. DE. **EFEITOS DO MANGANÊS SOBRE A SOJA EM SOLUÇÃO NUTRITIVA E EM SOLO DO CERRADO DO TRIÂNGULO MINEIRO**. 1996. 69 f. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

PECK, T.R. Plant analysis for production agriculture. In: SOIL PLANT ANALYSIS WORKSHOP, 7, Bridgetown, 1979. Proceedings. Bridgetown, 1979. p.1-45.

PEREIRA, M.G.; PÉREZ, D.V.; VALLADARES, G.S.; SOUZA, J.M.P.F.; ANJOS, L.H.C. Comparação de métodos de extração de cobre, zinco, ferro e manganês em solos do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.655-660, 2001.

PRIMAVESI, O. Resultados de Nitrofoska foliar em diversas culturas no Brasil. In: SIMPÓSIO DE ADUBAÇÃO FOLIAR, 1, 1980, Botucatu, **Resumos...** Botucatu: 1980. P. 73-95.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p.

RODRIGUES, M.R.L.; MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. Comparação de soluções extratoras de ferro e manganês em solos da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.143-149, 2001.

ROSOLEM, C. A., J. A. QUAGGIO; N. M. DA SILVA. 2001. Algodão, amendoim e soja. p. 319 - 354. In M.E. Ferreira, M. C. P. da Cruz, B. van Raij, C. A. de Abreu. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. CNPq/FAPESP/Potafós, Jaboticabal.

ROSOLEM, C. A.; NAKAGAWA, J. Deficiência de Mn em soja, induzida por adubação potássica e calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, p.833-836, 1990.

ROSOLEM, C.A.; BESSA, M.A.; AMARAL, P.G.; PEREIRA, H.F.M. Manganês no solo, sua avaliação e toxidez de manganês em soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 277-285, 1992.

SALCEDO, I.H.; ELLIS, B.G.; LUCAS, R.E. Studies in soil manganese: II: Extractable manganese and plant uptake. **Soil Science Society of America Journal**, v.43, p.138-41, 1979.

SÃO JOÃO, A.C.G. **EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES DE MANGANÊS, DISPONIBILIDADE PARA A SOJA E DISTRIBUIÇÃO NAS FRAÇÕES DO SOLO**. 2006, 59f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração: Ciência do Solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2006.

SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; OLIVEIRA, F.A.; CASTRO, C. Estimativa do nível crítico de manganês trocável, em solo do Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, Gramado- RS. 2007. **Resumos expandidos...** SBCS. 2007. 3 p. (CD-ROM).

SHUMAN, L.M. Zinc, manganese and copper in soil fractions. **Soil Science**, v.127, p.10-17, 1979.

SHUMAN, L. M. Fractionation method for soil microelements. **Soil Science**, v.140, p.11-22, 1985.

SHUMAN, L.M. Effect of liming on the distribution of manganese, copper, iron and zinc among soil fractions. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.1236-1240, 1986.

SHUMAN, L.M. Effect of organic matter on the distribution of manganese, copper, iron, and zinc in soil fractions. **Soil Science**, v.146, p.192-198, 1988.

SHUMAN, L.M. Sodium hypochlorite methods for extracting microelements associated with soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p.656-660, 1983.

SHUMAN, L.M. Separating soil iron and manganese-oxide fractions for microelement analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.46, p.1099-1102, 1982.

SHUMAN, L.M.; ANDERSON, O.E. Evaluation of six extractants for their ability to predict manganese concentration in wheat and soybean. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.38, p.788-790, 1974.

SILVA, J.A.F.; VITTI, G.C.; SILVA, M.M.; NAKAYAMA, L.H.I. Avaliação de diferentes fontes contendo cálcio e magnésio adicionadas a micronutrientes na cultura de citros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Rio de Janeiro, 1997, SBCS. CD rom.

SIMS, J. T. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper, and zinc organic matter in soil fractions. **Soil Science Society America Journal**, v.50, p.367-373, 1986.

SIMS, J.T.; JOHNSON, G.V. Micronutrients soil tests. In: MORTVERDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., eds. **Micronutrients in agriculture**, Madison, Soil Science Society of America, 1991. p.427-472.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A. Manganese deficiency in soybeans induced by excess lime. In: ARMSTRONG, D. L. (Ed.). *Better Crops International*. Norcross: Potash & Phosphate Institute, 1993. p. 7.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A. Deficiência de manganês e soja induzida por excesso de calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, p.247-20, 1992.

TAZISONG, I.A.; SENWO, Z.N.; TAYLOR, R.W.; MBILA, M.O.; WANG, Y. Concentration and distribution of iron and manganese fractions in Alabama Ultisols. **Soil Science**, v.169, p.489-496, 2004.

VALE, F.; ALCARDE, J.C. Solubilidade e disponibilidade dos micronutrientes em fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.441-451, 1999.

VALADARES, J.M.A.S.; CAMARGO, O.A. Manganês em solos do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 123-130, 1983.

WEAR, J.I.; SOMMER, A.L. Acid-extractable zinc of soils in relation to the occurrence of zinc deficiency symptoms of corn: a method of analysis. **Soil Science Society America Proceedings**, v.12, p. 143-144, 1947.

WILSON, D.O.; BOSWELL, F.C.; OHKI, K.; PARKER, M.B., SHUMAN, L.M. Soybean response to the application of several elements on a low-manganese soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.14, p.1151-1166, 1983.

Zhang, M.; Alva, A. K.; Li, Y. C.; Calvert, D. V. Chemical association of Cu, Mn, and Pb in selected sandy citrus soils. **Soil Science**, v.162, p.181-188, 1997.