

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS**  
**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**FORMAS DE CARBONO E SUAS RELAÇÕES COM A**  
**DISPONIBILIDADE DE MANGANÊS PARA A CULTURA DO MILHO**

Luiz Gustavo Silveira Silva

Jaboticabal-SP  
1º Semestre/2025

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS**  
**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**FORMAS DE CARBONO E SUAS RELAÇÕES COM A**  
**DISPONIBILIDADE DE MANGANÊS PARA A CULTURA DO MILHO**

Luiz Gustavo Silveira Silva

Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

Coorientador: Me. Alaor Ribeiro da Rocha Neto

Trabalho apresentado à Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP,  
Câmpus de Jaboticabal, para graduação em  
ENGENHARIA AGRONÔMICA.

Jaboticabal-SP

1º Semestre/2025

S586f Silva, Luiz Gustavo Silveira

Formas de carbono e suas relações com a disponibilidade de manganês para a cultura do milho / Luiz Gustavo Silveira Silva. -- Jaboticabal, 2025

37 f. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Mara Cristina Pessoa da Cruz

Coorientador: Alaor Ribeiro da Rocha Neto

1. Disponibilidade de manganês. 2. Carbono orgânico lábil. 3. Adubação com manganês. 4. Milho. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO: CIÊNCIA DO SOLO

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

### TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

**TÍTULO:** Formas de carbono e suas relações com a disponibilidade de manganês para a cultura do milho

**ACADÊMICO:** Luiz Gustavo Silveira Silva

**CURSO:** Engenharia Agrônômica

**ORIENTADOR (ES):** Profa. Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz  
Me. Alaor Ribeiro da Rocha Neto

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

#### BANCA EXAMINADORA:

(Nomes)

(Assinaturas)

**Presidente** Profa. Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz

*Mara Cristina Pessoa da Cruz*

**Membro** Dr. Antonio Márcio Souza Rocha

*Antonio Rocha*

**Membro** Me. Jairo Neves Oliveira

*Jairo Neves de Oliveira*

Jaboticabal 03 / 02 / 2025

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: / /

*[Assinatura]*

Aprovado Ad Referendum do  
Conselho do Departamento

\_\_\_\_\_  
Chefe do Departamento  
Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ  
Chefe do Departamento de  
Ciência do Solo

“Ando devagar porque já tive pressa  
E levo esse sorriso porque já chorei demais.  
Hoje me sinto mais forte, mais feliz, quem sabe?  
Só levo a certeza de que muito pouco eu sei  
Ou nada sei...”

(Tocando em frente - Almir Sater e Renato Teixeira)

Dedico este trabalho à minha família, aos meus amigos e aos meus professores, que me apoiaram e me guiaram até aqui. E ao meu avô, que foi minha inspiração para cursar Engenharia Agrônoma.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família por todo apoio, carinho e incentivo durante todos esses anos.

Aos meus pais, Carlos Alberto Carvalho da Silva e Penha Aparecida Voltolini da Silveira Silva, por me proporcionarem a oportunidade de concluir a graduação que escolhi.

À minha namorada, Ana Elisa Gomes, por todo apoio e incentivo. Foi uma verdadeira companheira.

Ao meu amigo e coorientador, Alaor Ribeiro da Rocha Neto, pelos conselhos, pela paciência, pelas risadas, por ter coletado solos e por conseguir as sementes do híbrido de milho.

Aos meus amigos e companheiros de laboratório, Gabriel Júnior da Rocha Ribeiro e Jairo Neves de Oliveira, por alegrarem meus dias e me ajudarem na condução dos experimentos.

À minha orientadora, Profa. Mara Cristina Pessôa da Cruz, por todos os conselhos, pela paciência e atenção, pelos ensinamentos e pelas risadas.

Ao Prof. Manoel Evaristo Ferreira, pelas conversas e por sempre servir de desculpa para eu preparar um café.

Aos meus amigos da República Abatedouro, por alegrarem meus dias nesta reta final da graduação.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), por todo conhecimento que adquiri.

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), que disponibilizou a bolsa de iniciação científica para realização do projeto.

À Syngenta Seeds/Nidera por ter disponibilizado as sementes de milho.

Muito obrigado a todos!

## ÍNDICE

|                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------|------|
| RESUMO.....                                                  | viii |
| ABSTRACT.....                                                | ix   |
| 1. INTRODUÇÃO.....                                           | 1    |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA.....                                | 4    |
| 2.1. Formas de manganês no solo e fatores de influência..... | 4    |
| 2.1.1. pH.....                                               | 5    |
| 2.1.2. Potencial de oxirredução .....                        | 6    |
| 2.1.3. Carbono orgânico total.....                           | 6    |
| 2.1.4. Carbono orgânico lábil.....                           | 7    |
| 2.2. Manganês na planta.....                                 | 9    |
| 2.3. Adubação com manganês.....                              | 10   |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS.....                                   | 12   |
| 3.1. Coleta e caracterização química dos solos.....          | 12   |
| 3.2. Instalação, condução e colheita do experimento 1.....   | 14   |
| 3.3. Instalação, condução e colheita do experimento 2.....   | 17   |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                               | 21   |
| 4.1. Experimento 1.....                                      | 21   |
| 4.2. Experimento 2.....                                      | 25   |
| 5. CONCLUSÕES.....                                           | 31   |
| 6. LITERATURA CITADA.....                                    | 32   |

## RESUMO

### FORMAS DE CARBONO E SUAS RELAÇÕES COM A DISPONIBILIDADE DE MANGANÊS PARA A CULTURA DO MILHO

A fração lábil do carbono orgânico do solo tem relação com a disponibilidade de nutrientes e permite avaliar mudanças de manejo em curto prazo. Dentre as formas do carbono lábil, o carbono oxidável em solução de permanganato de potássio (COxP) tem se mostrado uma das mais promissoras como indicadores de qualidade do solo. Deste modo, os objetivos com este trabalho foram avaliar a interação do carbono orgânico total e do COxP com a disponibilidade de manganês para milho, assim como a resposta do milho à adubação com manganês via solo, em função do teor de COxP. Para atender aos objetivos propostos foram coletados solos em treze locais, na camada de 0-20 cm de profundidade, com variação nos teores de argila, matéria orgânica e manganês disponível. Os solos foram usados na condução de dois experimentos realizados em vasos, em casa de vegetação, utilizando o milho como planta teste. Ambos os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado. No primeiro experimento os solos tiveram a acidez corrigida e receberam adubação completa menos manganês. As plantas cresceram por 39 dias, a parte aérea foi colhida e foram obtidos a produção de matéria seca (MS) e o manganês acumulado ( $Mn_{ac}$ ). Considerando o conjunto dos treze solos as correlações obtidas entre COxP e  $Mn_{ac}$  foram baixas e, por isso, os solos foram agrupados com base no teor de argila em: solos arenosos e argilo-arenosos, com teor < 33%, e solos argilo-arenosos e argilosos, com teor  $\geq$  33%. Foram obtidas correlações entre as variáveis apenas para os solos com teor de argila < 33%, e o teor de argila e o carbono oxidável por permanganato foram as variáveis que melhor explicaram a variação no  $Mn_{ac}$ . No segundo experimento foram usados três solos do grupo com teor de argila menor que 33%, os quais foram adubados com quatro doses de manganês (0, 2, 4 e 6 mg dm<sup>-3</sup>). Nesse experimento foi observado que, independentemente do COxP e do teor de Mn no solo, as plantas de milho não responderam à adubação e, ainda, cresceram mais e acumularam mais MS na condição sem adubação, indicando que há necessidade de trabalhar com um conjunto maior de solos para poder estabelecer relações mais sólidas entre a disponibilidade de Mn e as formas de carbono do solo.

**Palavras-chave:** disponibilidade de manganês, carbono orgânico lábil, adubação com manganês, milho.

## ABSTRACT

### CARBON FORMS AND THEIR RELATIONSHIP WITH MANGANESE AVAILABILITY FOR MAIZE CROPS

The labile fraction of soil organic carbon is closely related to nutrient availability and provides a tool for assessing short-term management changes. Among the forms of labile carbon, potassium permanganate-oxidizable carbon (POxC) has emerged as one of the most promising indicators of soil quality. Therefore, the objectives of this study were to evaluate the interaction between total organic carbon and POxC with manganese availability for maize, as well as the response of maize to soil-applied manganese fertilization in relation to POxC levels. To achieve these objectives, soils were collected from thirteen locations at a depth of 0–20 cm, representing a range of clay content, organic matter, and available manganese levels. These soils were used in two experiments conducted in pots under greenhouse conditions, with maize as the test plant. Both experiments were set up in a completely randomized design. In the first experiment, soil acidity was corrected, and complete fertilization, excluding manganese, was applied. Plants grew for 39 days, after which shoot dry matter (DM) production and accumulated manganese (Mnac) were measured. Across all thirteen soils, correlations between POxC and Mnac were low. Thus, the soils were grouped based on clay content: sandy and sandy-loam soils with <33% clay, and sandy-loam and clayey soils with ≥33% clay. Correlations between variables were observed only for soils with <33% clay content. In these soils, clay content and POxC were the variables that best explained variations in Mnac. In the second experiment, three soils with <33% clay content were selected and fertilized with four manganese rates (0, 2, 4, and 6 mg dm<sup>3</sup>). Results showed that regardless of POxC levels and manganese content in the soil, maize plants did not respond to manganese fertilization. Moreover, they exhibited greater growth and higher DM accumulation in the unfertilized condition. This indicates the need for a larger set of soils to establish stronger relationships between manganese availability and soil carbon forms.

**Keywords:** manganese availability, labile organic carbon, manganese fertilization, maize.

## 1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de deficiência de manganês (Mn) em lavouras comerciais de milho tornou-se mais frequente nos últimos anos devido ao avanço da agricultura para solos com baixa disponibilidade do nutriente e uso de híbridos mais exigentes, precoces e produtivos (BOARETTO *et al.*, 2022). Essa situação ainda pode ser agravada pela realização de calagem com incorporação superficial em sistema de semeadura convencional, ou à distribuição do calcário em superfície nos sistemas de semeadura direta, que proporcionam aumento excessivo do pH na camada mais superficial do solo (CAIRES *et al.*, 2002; MACHADO, 2017).

O pH é o principal fator que controla a disponibilidade de Mn. Conforme o pH aumenta, a disponibilidade de Mn diminui, devido à maior precipitação na forma de óxidos, à maior adsorção do cátion e à maior estabilidade dos complexos orgânicos, o que eleva a probabilidade do surgimento de deficiência desse nutriente nas plantas (BORKERT, 1991; HANSEL; OLIVEIRA, 2016). No entanto, solos corrigidos favorecem o acúmulo de matéria orgânica por causa da maior produção de MS das plantas, o que pode diminuir a probabilidade do surgimento de deficiência. A disponibilidade de Mn, assim como a de outros

nutrientes, é muito influenciada pelo teor de matéria orgânica do solo, porque ela aumenta a quantidade de cargas em que o Mn pode ser adsorvido, e porque, ao passar por mineralização microbiana, gera a forma  $Mn^{2+}$  solúvel, que é absorvida pelas plantas.

A forma de avaliar o teor de matéria orgânica do solo é através da medida do carbono orgânico total (COT), mas, nas últimas duas décadas, a fração lábil (FL) do COT tem ganhado atenção por apresentar correlação com a disponibilidade de nutrientes e responder mais rapidamente às mudanças de manejo do solo, possibilitando avaliações de curto prazo.

A disponibilidade de Mn na análise de solo é obtida, no Estado de São Paulo, extraindo o nutriente com solução de DTPA-TEA pH 7,3 (BOARETTO *et al.*, 2022). A medida no laboratório é simples, mas a quantidade do nutriente que é extraída sofre alterações importantes em função do preparo da amostra como secagem, temperatura de secagem e tempo de armazenamento (PAVAN; MIYAZAWA, 1984), o que diminui a precisão da análise de solo e dificulta a recomendação de adubação. O processo de secagem da amostra resulta em aumento dos teores de Mn extraídos, principalmente em solos ácidos. Do mesmo modo, o aumento do tempo de armazenamento causa aumento na quantidade extraída, particularmente em solos com teores altos de COT (PAVAN; MIYAZAWA, 1984).

Nas áreas de produção de milho, a deficiência de Mn é amenizada, de modo geral, por várias aplicações foliares de sais de Mn solúveis, durante o período de crescimento vegetativo. Essa forma de aplicação é trabalhosa,

demorada, cara e, muitas vezes, ineficiente, devido à baixa mobilidade do Mn no floema. Assim, a aplicação foliar de Mn é feita preventivamente, sem conhecer a real disponibilidade e a necessidade da cultura, o que causa suprimento inadequado ou aplicações excessivas e caras (SCHMIDT *et al.*, 2013).

Desse modo, a adubação via solo com sais solúveis aliada ao acúmulo de carbono orgânico lábil pode ser uma opção mais adequada para o controle da deficiência de Mn no milho. No entanto, não há recomendação de adubação com Mn para milho no Estado de São Paulo, e as pesquisas envolvendo a disponibilidade de Mn estão, em sua maioria, voltadas para a soja (LIMA *et al.*, 2007; OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2000), destacando a necessidade de estudos específicos para o milho.

Os objetivos com o presente trabalho foram avaliar a interação do carbono orgânico total e do carbono orgânico lábil com a disponibilidade de Mn para milho, assim como a resposta da cultura à adubação com Mn via solo, em função do teor de COxP.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Formas de manganês no solo e fatores de influência

O Mn é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre e está na composição de mais de uma centena de minerais, os quais se encontram na forma de óxidos (ex.: pirolusita –  $\text{MnO}_2$ ), hidróxidos (ex.: manganita -  $\text{MnOOH}$ ), carbonatos (ex.: rodocrosita –  $\text{MnCO}_3$ ) e silicatos (ex.: rodonita –  $\text{MnSiO}_3$ ), compondo rochas ígneas, metamórficas e sedimentares (POST, 1999; SAMPAIO *et al.*, 2008). A concentração de Mn nessas rochas varia entre, respectivamente, 350 e 2.000  $\text{mg kg}^{-1}$ , 600 e 1.500  $\text{mg kg}^{-1}$  e 100 e 1.000  $\text{mg kg}^{-1}$  (GILKES; MCKENZIE, 1988; PENDIAS; MUKHERJEE, 2007). Submetidas ao intemperismo, essas rochas dão origem a solos com diferentes teores de Mn.

No solo, o Mn pode ser encontrado em diferentes estados de oxidação (+2, +3, +4, +6 e +7), porém predominam as formas de  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{4+}$ . O  $\text{Mn}^{2+}$  é a forma solúvel absorvida pela planta; o  $\text{Mn}^{3+}$  e o  $\text{Mn}^{4+}$  são encontrados na forma de óxidos de Mn ( $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ) insolúveis e indisponíveis às plantas. A dinâmica entre os estados de oxidação é complexa e, depende de

vários fatores, principalmente do pH, do potencial de oxirredução (pE) e do COT (MILLALEO *et al.*, 2010; SILVA; BERTI, 2022).

### 2.1.1. pH

As mudanças nos valores de pH interferem diretamente na solubilidade do Mn, por meio da formação e dissolução de óxidos de Mn. À medida que o solo se torna mais ácido, os óxidos de Mn reagem com os íons  $H^+$  ( $MnO_2(s) + 4H^+ \leftrightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$ ) e o  $Mn^{3+}$  e o  $Mn^{4+}$  dos óxidos são reduzidos a  $Mn^{2+}$ , o que aumenta a disponibilidade do nutriente. Por outro lado, se a acidez do solo diminui, os íons  $Mn^{2+}$  são oxidados a  $Mn^{3+}$  e  $Mn^{4+}$  na reação com  $OH^-$  ( $Mn^{2+} + 4OH^- \leftrightarrow MnO_2(s) + 2H_2O$ ), precipitando na forma de óxidos e diminuindo a sua disponibilidade (ABREU *et al.*, 2007; MILLALEO *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2007).

No Brasil, grande parte dos solos são naturalmente ácidos e necessitam de correção, a qual é realizada com a aplicação de calcário, antes de serem utilizados para a produção agrícola. Porém, mesmo com a acidez natural corrigida, a calagem será realizada periodicamente devido ao processo de acidificação ocasionado pela lixiviação de bases, uso recorrente de adubos nitrogenados, absorção de nutrientes pelas plantas e exportação pela colheita (FAGERIA; NASCENTE, 2014). O aumento de pH causado pela calagem pode diminuir significativamente a concentração de Mn nas plantas (FAGERIA; NASCENTE, 2008; SPEHAR, 1993).

### **2.1.2. Potencial de oxirredução (pE)**

O pE mede a atividade de elétrons na solução do solo, indicando se o ambiente é favorável à redução ou oxidação dos elementos. Este fator é influenciado por três variáveis: pH, atividade microbiana e aeração. Solos bem drenados, aerados e com pH em  $\text{CaCl}_2$  acima de 5,5 são adequados para o cultivo da maioria das culturas, mas favorecem as reações de oxidação que indisponibilizam o Mn. Nesses solos, a atividade microbiana aeróbia utiliza o oxigênio ( $\text{O}_2$ ), ao invés de óxidos, como receptor de elétrons no processo de respiração celular, não contribuindo para a disponibilidade de Mn (ABREU *et al.*, 2007; QUAGGIO; RAIJ, 2022).

Em contrapartida, solos alagados com baixa aeração, condições comuns no cultivo de arroz em várzea, favorecem as reações de redução, aumentando a disponibilidade de Mn. Nesses solos predominam os microrganismos anaeróbios facultativos e obrigatórios devido ao consumo do  $\text{O}_2$  que havia no solo e à baixa difusão do gás na lâmina de água (ABREU *et al.*, 2007; MORAES; DYNIA, 1992). Sem o  $\text{O}_2$ , outros compostos são utilizados como receptores de elétrons no processo de respiração. Após o nitrato, os óxidos de Mn são os próximos a serem utilizados, fazendo com que os microrganismos aumentem a quantidade de Mn disponível (CAMARGO *et al.*, 2001).

### **2.1.3. Carbono orgânico total**

O COT pode reter grande parte do Mn presente no solo (MOREIRA *et al.*, 2006), tornando-se uma fonte relevante desse nutriente para as plantas. A adsorção específica é a principal forma de interação entre o Mn e as cargas

negativas da matéria orgânica, ocorrendo por meio da formação de complexos de esfera interna ou externa. Complexos de esfera interna são mais fortes e estáveis, pois envolvem a perda da camada de hidratação do íon e a formação de ligações covalentes com a matéria orgânica. Em contrapartida, complexos de esfera externa são mais fracos e instáveis, uma vez que o íon mantém sua camada de hidratação, e a interação entre o Mn e a carga da matéria orgânica é eletrostática (BRADL, 2004).

Devido ao tipo de ligação, o Mn complexado em esfera externa apresenta maior propensão à dessorção, tornando-se mais facilmente disponível para as plantas (BRADL, 2004).

O Mn também pode estar incorporado na estrutura de compostos orgânicos do solo, necessitando passar pelo processo de mineralização para se tornar disponível. Durante a mineralização, microrganismos liberam enzimas que decompõem compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples, utilizadas em seu metabolismo. Caso íons  $Mn^{2+}$  estejam presentes na fração não assimilada, eles podem ser absorvidos pelas plantas (CUNHA et al., 2015; VARGAS; SCHOLLES, 1998).

#### **2.1.4. Carbono orgânico lábil**

A fração lábil (FL) do carbono do solo é composta por resíduos orgânicos em diferentes estágios de decomposição e pelos produtos identificáveis resultantes dessa decomposição, ou seja, compostos orgânicos não humificados, como carboidratos, aminoácidos, polissacarídeos e lipídeos.

Somam-se a esses produtos, compostos não específicos, em estágios mais avançados de decomposição (POIRIER *et al.*, 2005).

Alguns métodos podem ser utilizados para medir o carbono lábil do solo, como: carbono orgânico particulado por tamanho ou por densidade (COP), carbono da biomassa microbiana (CBM), carboidratos reativos à antrona e carbono oxidável em permanganato de potássio (COxP). O COxP apresenta vantagens em relação aos outros métodos citados, como: não exige procedimentos laboratoriais complexos; pode ser incluído na rotina de laboratórios; não utiliza substâncias potencialmente tóxicas; a solução de permanganato de potássio pode ser estocada e é barata; e o método apresenta repetibilidade (WEIL *et al.*, 2003).

O procedimento de extração do COxP mais empregado na atualidade é o de WEIL *et al.* (2003) e nele é recomendado uso de concentração  $0,02 \text{ mol L}^{-1}$  do oxidante. Com essa concentração são oxidados de 1 a 4% do COT (CULMAN *et al.*, 2012), que são constituídos por compostos alifáticos e aromáticos, com predomínio dos alifáticos (ROMERO *et al.*, 2018). O COxP é moderadamente estável, composto por metabólitos microbianos e apresenta potencial para se associar aos minerais do solo (CULMAN *et al.*, 2012), o que leva ao acúmulo e estabilização.

O carbono lábil vem sendo utilizado por ser mais sensível que o COT para avaliar variações causadas pelo manejo nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (CULMAN *et al.*, 2012). A FL é frequentemente relacionada com disponibilidade e ciclagem de nutrientes. DUVAL *et al.* (2018) relataram forte

interação positiva da FL com o N total do solo e com o P extraível. POIRIER *et al.* (2005) colocam a FL como fonte de N suscetível de mineralização. Ainda, DATTA *et al.* (2010) identificaram correlações positivas entre a FL e as concentrações de N, P, K, Zn e Fe na MS de plantas de trigo. Se há correlação entre o carbono lábil e os micronutrientes Fe e Zn, pode-se admitir que em solos nos quais as reservas minerais de Mn já tenham sido reduzidas pelo intemperismo, a matéria orgânica, particularmente a FL, tenha papel importante no controle da disponibilidade de Mn.

## **2.2. Manganês na planta**

O Mn é classificado como micronutriente de plantas juntamente com ferro, zinco, cobre, boro, cloro, molibdênio e níquel, pois as plantas exigem menores quantidades desses nutrientes quando comparadas às quantidades exigidas de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre). Em estudos realizados por BORGES *et al.* (2009) e OLIVEIRA *et al.* (2019), foram relatados acúmulos médios de, respectivamente, 710 e 578 g ha<sup>-1</sup> de Mn em plantas de milho de lavouras de alta produtividade. Em contrapartida, em mesmas condições de produtividade, plantas de milho podem acumular, em média, 351,1 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (PINHO *et al.*, 2009).

No metabolismo vegetal, o Mn atua como ativador e cofator enzimático, participando de diversas funções, como: evolução do O<sub>2</sub> na fotossíntese (AMAO *et al.*, 2010); eliminação de espécies reativas de oxigênio (CORPAS *et al.*, 2017); sinalização hormonal (ALEJANDRO *et al.*, 2020); síntese de lignina (ÖNNERUD

*et al.*, 2002; ENGELSMA, 1972); síntese de proteínas (BROADLEY *et al.*, 2012) e metabolismo de ácidos graxos (CONSTANTOPOULOS, 1970).

Os sintomas de deficiência de Mn começam a se manifestar nas folhas mais novas por causa da baixa mobilidade do nutriente no floema, que impede a redistribuição do Mn das folhas mais velhas para as mais novas. As plantas de milho com sintomas de deficiência de Mn apresentam uma pequena diminuição de altura e clorose internerval das folhas mais novas, começando da base e evoluindo para a ponta (FERREIRA, 2012). No entanto, a deficiência também pode ocorrer de forma latente, ou seja, quando não há manifestação de sintomas visuais, o que torna a identificação mais difícil, assim como a quantificação das perdas de rendimento das plantas (SCHMIDT *et al.*, 2016).

### **2.3. Adubação com manganês**

No Brasil, a deficiência de Mn ocorre com mais frequência em áreas com cultivo de café, citros, algodão, milho e soja, quando o solo apresenta teores de Mn-DTPA menores do que  $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$ , considerados baixos. Nessa classe, espera-se que a adubação aumente a concentração do nutriente na parte vegetativa e a produtividade, até que o teor no solo fique acima de  $5 \text{ mg dm}^{-3}$ , considerado alto (BOARETTO *et al.*, 2022; QUAGGIO *et al.*, 1998). Nos estudos realizados por FAGERIA (2002) e LEITE (2003), o milho respondeu positivamente à adubação com Mn via solo, aumentando a produção de MS conforme o aumento das doses do nutriente. Porém, a resposta do milho a adubação com Mn pode ser maior do que a observada nesses estudos, visto que

os solos utilizados apresentavam teores de Mn extraído em Mehlich 1 maiores do que  $5 \text{ mg dm}^{-3}$ , considerados altos (GALRÃO, 2004).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Coleta e caracterização química dos solos**

Foram coletados 13 solos em busca de variações na textura, teores de COT e de Mn disponível. A coleta (Figura 1a) foi feita na camada de 0-20 cm de profundidade, nos municípios de Jaboticabal (SP), Cajuru (SP) e Goiatins (TO). As coordenadas geográficas e as observações feitas nos pontos de coleta estão descritas na Tabela 1. Posteriormente, os solos foram secos em temperatura ambiente (Figura 1b), destorroados, passados em peneira de 4 mm, homogeneizados e amostrados para análise granulométrica (CAMARGO *et al.*, 2009) e química (RAIJ *et al.*, 2001). Os resultados das análises estão apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. A extração de Mn foi feita com solução de DTPA-TEA pH 7,3 (RAIJ *et al.*, 2001), o COT foi obtido por oxidação via úmida e quantificação titulométrica (RAIJ *et al.*, 2001) e o carbono lábil foi extraído com solução de permanganato de potássio 0,02 mol L<sup>-1</sup> (WEIL *et al.*, 2003). Os 13 solos foram utilizados no experimento 1 e, destes, 3 foram usados no experimento 2.



Figura 1. Coleta (a) e secagem (b) dos solos.

Tabela 1. Coordenadas geográficas e observações feitas nos pontos de coleta.

| Solo | Coordenadas Geográficas |               | Cobertura vegetal                                                  |
|------|-------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------|
|      | Latitude                | Longitude     |                                                                    |
| 1    | 21°12'40,39"S           | 47°14'26,18"O | Solo em pousio, coberto predominantemente por <i>Urochloa spp.</i> |
| 2    | 21°12'51,07"S           | 47°14'14,59"O | Mata nativa                                                        |
| 3    | 21°12'22,19"S           | 47°13'24,53"O | Solo revolvido contendo restos culturais de milho                  |
| 4    | 21°13'16,19"S           | 47°15'32,70"O | Mata nativa                                                        |
| 5    | 21°14'45,87"S           | 48°17'13,55"O | Mata nativa                                                        |
| 6    | 21°15'19,76"S           | 48°16'31,71"O | Cultivo de seringueira                                             |
| 7    | 8°8'3,00"S              | 47°50'30,00"O | Mata nativa                                                        |
| 8    | 8°7'25,00"S             | 47°49'56,00"O | Mata nativa                                                        |
| 9    | 8°9'3,00"S              | 47°50'30,00"O | Mata nativa                                                        |
| 10   | 21°17'10,27"S           | 48°13'31,59"O | Solo revolvido contendo restos culturais de cana-de-açúcar         |
| 11   | 21°10'25,10"S           | 48°17'7,05"O  | Pastagem de <i>Cynodon sp.</i>                                     |
| 12   | 21°10'33,91"S           | 48°17'5,14"O  | Mata Nativa                                                        |
| 13   | 21°10'28,57"S           | 48°17'14,43"O | Solo revolvido contendo restos culturais de milho                  |

Tabela 2. Granulometria dos solos usados no experimento.

| Solo | Argila      | Silte | Areia |
|------|-------------|-------|-------|
|      | -----%----- |       |       |
| 1    | 18          | 4     | 78    |
| 2    | 13          | 0     | 87    |
| 3    | 33          | 12    | 55    |
| 4    | 8           | 1     | 91    |
| 5    | 45          | 22    | 33    |
| 6    | 35          | 3     | 62    |
| 7    | 8           | 1     | 91    |
| 8    | 3           | 0     | 97    |
| 9    | 5           | 2     | 93    |
| 10   | 61          | 17    | 22    |
| 11   | 48          | 22    | 30    |
| 12   | 48          | 20    | 32    |
| 13   | 43          | 20    | 37    |

Tabela 3. Atributos químicos dos solos usados no experimento.

| Solo | pH <sub>CaCl<sub>2</sub></sub> | COT                | COxP                | P <sub>resina</sub> | S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup>                    | K <sup>+</sup> | H+Al | SB  | CTC | V  | Mn                  | Zn   |
|------|--------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------------------|----------------|------|-----|-----|----|---------------------|------|
|      |                                | g.kg <sup>-1</sup> | mg.kg <sup>-1</sup> |                     | mg.dm <sup>-3</sup>             |                  | ----- mmol.c.dm <sup>-3</sup> ----- |                |      |     |     | %  | mg.kg <sup>-1</sup> |      |
| 1    | 4,4                            | 14                 | 630                 | 10                  | 4                               | 21               | 7                                   | 3,6            | 52   | 32  | 84  | 38 | 77,1                | 3,2  |
| 2    | 3,9                            | 15                 | 603                 | 9                   | 4                               | 6                | 3                                   | 2,0            | 64   | 11  | 75  | 14 | 12,7                | 0,6  |
| 3    | 5,4                            | 31                 | 1274                | 17                  | 4                               | 73               | 25                                  | 2,3            | 45   | 100 | 145 | 69 | 3,0                 | 0,8  |
| 4    | 3,9                            | 6                  | 261                 | 3                   | 3                               | 1                | 1                                   | 0,5            | 24   | 2   | 26  | 9  | 0,9                 | 0,1  |
| 5    | 5,7                            | 23                 | 1371                | 8                   | 10                              | 93               | 23                                  | 2,4            | 31   | 119 | 150 | 79 | 142,1               | 44,7 |
| 6    | 5,0                            | 12                 | 575                 | 122                 | 7                               | 28               | 12                                  | 2,0            | 38   | 41  | 79  | 52 | 32,8                | 0,6  |
| 7    | 3,9                            | 8                  | 241                 | 8                   | 5                               | 0,2              | 0,3                                 | 0,3            | 40   | 1   | 41  | 2  | 0,6                 | 0,2  |
| 8    | 3,9                            | 4                  | 87                  | 2                   | 1                               | 0,2              | 0,2                                 | 0,1            | 22   | 1   | 23  | 2  | 0,2                 | 0,1  |
| 9    | 4,2                            | 5                  | 183                 | 2                   | 1                               | 0,2              | 0,3                                 | 0,2            | 19   | 1   | 20  | 4  | 0,4                 | 0,1  |
| 10   | 5,6                            | 20                 | 1139                | 41                  | 10                              | 85               | 23                                  | 7,2            | 34   | 115 | 149 | 77 | 62,9                | 3,1  |
| 11   | 5,1                            | 38                 | 1644                | 112                 | 11                              | 75               | 28                                  | 1,6            | 58   | 104 | 162 | 64 | 63,2                | 18,7 |
| 12   | 5,7                            | 27                 | 1369                | 138                 | 25                              | 80               | 56                                  | 13,0           | 42   | 149 | 191 | 78 | 58,1                | 4,5  |
| 13   | 5,8                            | 47                 | 1862                | 163                 | 8                               | 155              | 46                                  | 6,6            | 34   | 207 | 241 | 86 | 63,9                | 12,9 |

### 3.2 Instalação, condução e colheita do experimento 1

Para o experimento em casa de vegetação foi obtida a massa equivalente a 1 dm<sup>3</sup> de cada solo. Em seguida, massa de cada solo equivalente a 2,8 dm<sup>3</sup> foi pesada e transferida para sacos de plástico. Para correção da acidez, o índice de saturação por bases dos solos foi elevado para 70% (DUARTE *et al.*, 2022), usando carbonatos de cálcio e de magnésio puros, e considerando, no cálculo, a relação Ca:Mg de 2:1. Os corretivos foram pesados, aplicados e homogeneizados aos solos, juntamente com o superfosfato triplo, em doses de P ajustadas em função da textura e do teor de P-resina de cada solo. Nos solos arenosos com teores menores que 16 mg dm<sup>-3</sup> de P foram aplicados 90 mg dm<sup>-3</sup> de P; nos solos de textura média com teores menores que 41 mg dm<sup>-3</sup> de P, a dose foi 120 mg dm<sup>-3</sup>; nos solos de textura média com teores de P acima de 80 mg dm<sup>-3</sup>, foram aplicados 30 mg dm<sup>-3</sup>; nos solos argilosos com teores menores

que  $16 \text{ mg dm}^{-3}$ , a dose aplicada foi  $150 \text{ mg dm}^{-3}$ ; nos solos argilosos com teor muito alto, maior que  $80 \text{ mg dm}^{-3}$ , empregaram-se  $30 \text{ mg dm}^{-3}$  de P; e no solo muito argiloso com teor alto, a dose aplicada foi  $90 \text{ mg dm}^{-3}$ . No conjunto não havia solos de textura média com teores de P entre  $41$  e  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  e de textura argilosa com teores de P entre  $16$  e  $80 \text{ mg dm}^{-3}$ . Os solos foram então transferidos para vasos de plástico com capacidade para 3,0 litros e umedecidos a 50% da capacidade de retenção de água, usando água deionizada. A incubação dos solos com os corretivos/adubo teve duração de 30 dias e, durante esse período, os vasos ficaram cobertos com papel e a umidade dos solos foi mantida, repondo a massa de água perdida a cada dois dias. Após o término da incubação os solos foram retirados dos vasos, secos, passados em peneira de 4 mm, homogeneizados e amostrados ( $0,3 \text{ dm}^3$ ). Nas amostras coletadas foram determinados os teores de Mn-DTPA e COxP. Os solos foram recolocados nos vasos ( $2,5 \text{ dm}^3$ ) e foi feita adubação completa, exceto com Mn, visando elevar os teores de nutrientes para a classe de teores altos. Foram aplicados, via solução:  $120 \text{ mg dm}^{-3}$  de N,  $20 \text{ mg dm}^{-3}$  de S,  $1 \text{ mg dm}^{-3}$  de Cu,  $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de B e  $0,05 \text{ mg dm}^{-3}$  de Mo, em todos os solos, utilizando ureia, sulfato de amônio, sulfato de cobre, ácido bórico e molibdato de amônio, todos como sais puros; nos solos que possuíam menos de  $4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $\text{K}^+$ , foi aplicado cloreto de potássio puro para elevar os teores de K a  $4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; nos solos com menos de  $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$  de Zn, foram aplicados  $2 \text{ mg dm}^{-3}$  de Zn, utilizando sulfato de zinco puro.

Na casa de vegetação, os vasos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, sendo treze tratamentos (solos), com quatro

repetições, totalizando 52 vasos (Figura 2a). Para que não houvesse efeitos do ambiente sobre as plantas, os vasos foram mudados de lugar a cada dois dias dentro da bancada. O milho semeado foi o híbrido NS90 PRO2. As sementes utilizadas não possuíam tratamento e o excedente foi armazenado em saco de polipropileno vedado para serem utilizadas no experimento 2. A semeadura foi realizada com 8 sementes (Figuras 2b e 2c), para que fossem selecionadas 4 plantas (Figura 2d), as quais foram conduzidas por 39 dias a partir da emergência (Figura 2e e 2f). Durante o período de condução foi feita irrigação diária com água deionizada e três adubações em cobertura, aos 14, 19 e 26 dias após a emergência.

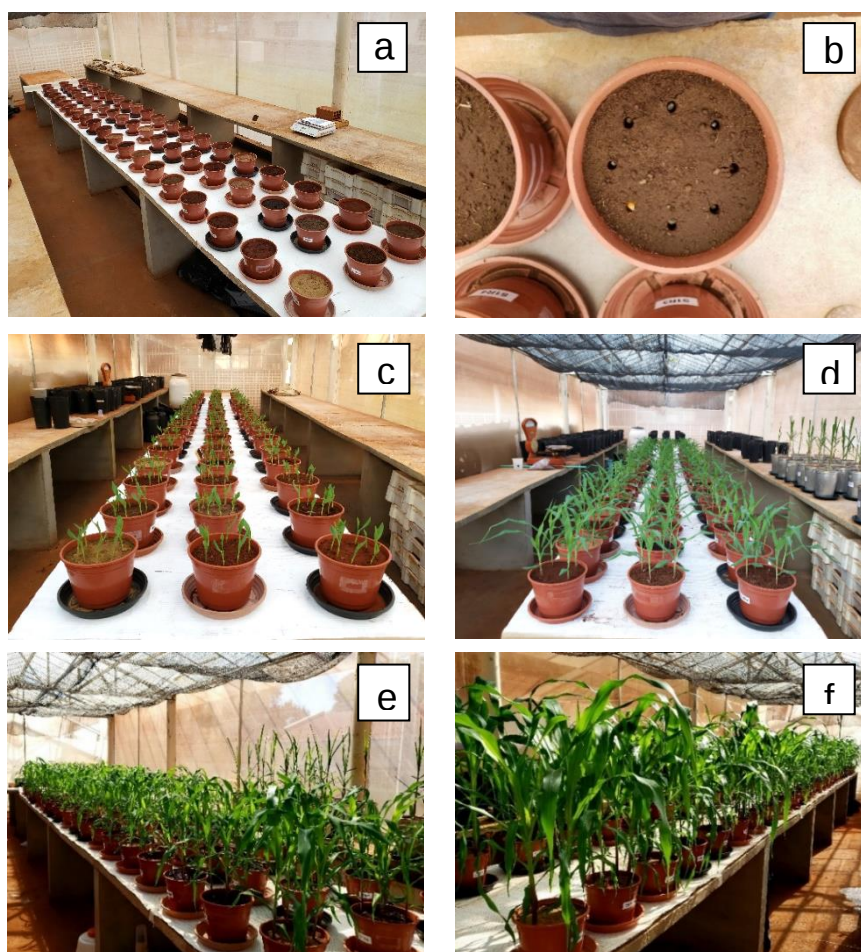


Figura 2. Incubação dos solos (a), semeadura do milho (b) e plantas com 2 (c), 7 (d), 23 (e) e 34 (f) após a emergência.

Na primeira adubação de cobertura foram aplicados 80 mg dm<sup>-3</sup> de N, usando ureia como fonte do nutriente; na segunda, foram aplicados 120 mg dm<sup>-3</sup> de N, 30 mg dm<sup>-3</sup> de P e 100 mg dm<sup>-3</sup> de K, usando ureia, fosfato de amônio monobásico e cloreto de potássio; e na terceira, foram aplicados 120 mg dm<sup>-3</sup> de N, 100 mg dm<sup>-3</sup> de K e 20 mg dm<sup>-3</sup> de S, usando ureia, cloreto de potássio e sulfato de potássio. Todas as adubações de cobertura foram feitas com sais puros.

Na colheita, as plantas foram cortadas rente ao solo, lavadas, secas, pesadas, moídas e submetidas a determinação da concentração de Mn usando extrato de digestão nítrico-perclórica e espectrofotometria de absorção atômica (CARMO *et al.*, 2000). A partir da MS e da concentração de Mn nas plantas foi calculado o Mn acumulado (Mn<sub>ac</sub>).

O grau de associação entre as variáveis argila, COT, COxP, Mn DTPA e Mn<sub>ac</sub> foram estabelecidas por meio de correlação de Pearson. Nos cálculos foram usados os resultados de COT, COxP e Mn-DTPA obtidos nas amostras de solo originais, sem aplicação de corretivos, tendo em vista que a análise de solo é usada, via de regra, como ferramenta de previsão das condições de fertilidade do solo existentes na área, com objetivo de orientação das práticas de manejo. Nas análises foi usado o software AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO Jr, 2015).

### **3.3. Instalação, condução e colheita do experimento 2**

A condução do segundo experimento foi realizada com três solos dentre os 13 que compuseram o experimento anterior, com o objetivo de avaliar a

resposta das plantas de milho à adubação com Mn, considerando textura semelhante e combinações diferentes de COxP e Mn-DTPA. Desse modo, foram escolhidos os solos 1, 4 e 8, sendo que os dois primeiros foram coletados novamente. A coleta foi realizada ao lado da primeira e, posteriormente, os solos coletados foram secos, destorroados, passados em peneira de 4 mm, amostrados e caracterizados.

Os critérios e fontes utilizadas para a correção e adubação com P foram os mesmos aplicados anteriormente. No entanto, as quantidades foram ajustadas para 1,18 dm<sup>3</sup> de solo, volume que foi usado em cada vaso. Os solos foram incubados por 30 dias em casa de vegetação, em vasos com capacidade para 1,3 L, com a umidade mantida a 50% da capacidade de retenção de água. Após 15 dias de incubação cada solo foi tratado com 4 doses de Mn, totalizando 12 tratamentos (solos x doses), organizados em esquema fatorial e delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições. As doses aplicadas foram 0, 2, 4 e 6 mg dm<sup>-3</sup>, as quais equivalem a 0, 4.000, 8.000 e 12.000 g ha<sup>-1</sup> de Mn, via soluções de sulfato de Mn monoidratado puro. Ao término da incubação, os solos foram retirados dos vasos, secos à temperatura ambiente, destorroados, passados em peneira de 4 mm e amostrados (0,1 dm<sup>3</sup>). Dessa amostra, foi extraído o Mn-DTPA.

O solo recolocado nos vasos (1,08 dm<sup>3</sup>) foi adubado com todos os outros nutrientes seguindo os mesmos critérios e fontes utilizados no experimento anterior. A semeadura foi realizada com 8 sementes (Figura 3a e 3b) para permitir a seleção de 3 plantas (Figura 3c), as quais foram conduzidas por 30

dias a partir da emergência (Figura 3d). A cada dois dias os vasos foram mudados de lugar para que não houvesse interferência do ambiente nas plantas. Durante o período de condução foi feita irrigação diária com água deionizada e três adubações em cobertura, aos 10, 17 e 24 dias após a emergência. Na primeira adubação foram aplicados  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  de N e  $30 \text{ mg dm}^{-3}$  de P, usando ureia e fosfato de amônio monobásico como fonte dos nutrientes; na segunda, foram aplicados  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  de N,  $30 \text{ mg dm}^{-3}$  de P,  $50 \text{ mg dm}^{-3}$  de K e  $30 \text{ mg dm}^{-3}$  de S, usando ureia, fosfato de amônio monobásico, cloreto de potássio e sulfato de amônio; e na terceira, foram aplicados  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  de N e  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  de K, usando ureia e cloreto de potássio. Todas as adubações de cobertura



Figura 3. Plantas com 2 (a e b), 5 (c) e 26 (d) dias após a emergência foram feitas com sais puros.

Na colheita, as plantas foram cortadas rente ao solo, lavadas, secas, pesadas, moídas e submetidas a determinação da concentração de Mn usando extrato de digestão nítrico-perclórica e espectrofotometria de absorção atômica (CARMO *et al.*, 2000). A partir da MS e da concentração de Mn nas plantas foi calculado o  $Mn_{ac}$ .

Os efeitos isolados dos fatores e suas interações nas variáveis Mn-DTPA, MS e  $Mn_{ac}$  foram avaliados por meio do Teste F (5%), e a comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5%. Além disso, foi realizada a regressão polinomial das variáveis em função das doses de Mn aplicadas. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o software AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO Jr., 2015).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Experimento 1

A produção de MS de milho variou de 15,57 a 35,24 g/vaso (Figura 4) e o  $Mn_{ac}$  variou entre 1,05 e 11,3 mg/vaso (Figura 5). O mínimo e o máximo da produção de MS foram observados, respectivamente, nos solos 3 (Figura 6c) e 8 (Figura 6e). Para o  $Mn_{ac}$ , os valores mínimo e máximo foram observados, respectivamente, nos solos 3 e 1 (Figura 6a).

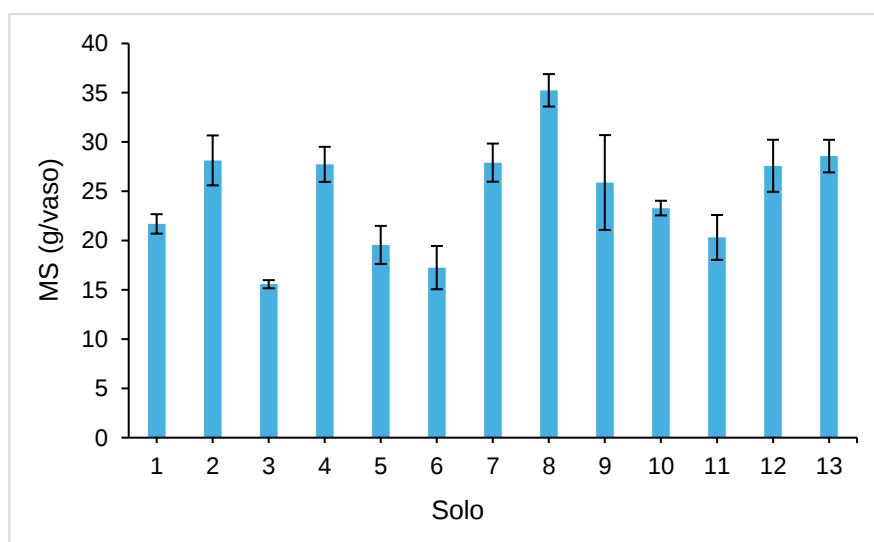


Figura 4. Produção média de matéria seca do milho em função dos solos. As barras de erro representam o desvio padrão em torno da média de 4 repetições.

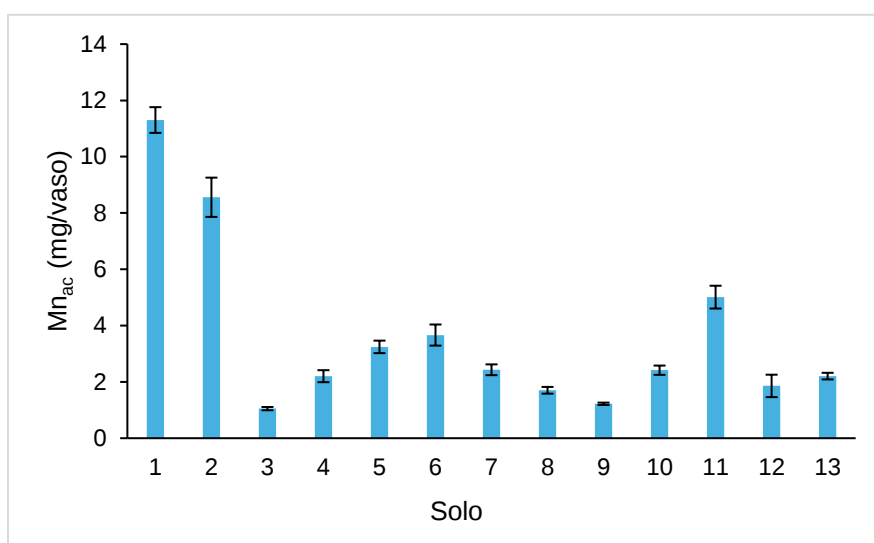


Figura 5. Manganês acumulado na matéria seca do milho em função do solo. As barras de erro representam o desvio padrão em torno da média de 4 repetições.

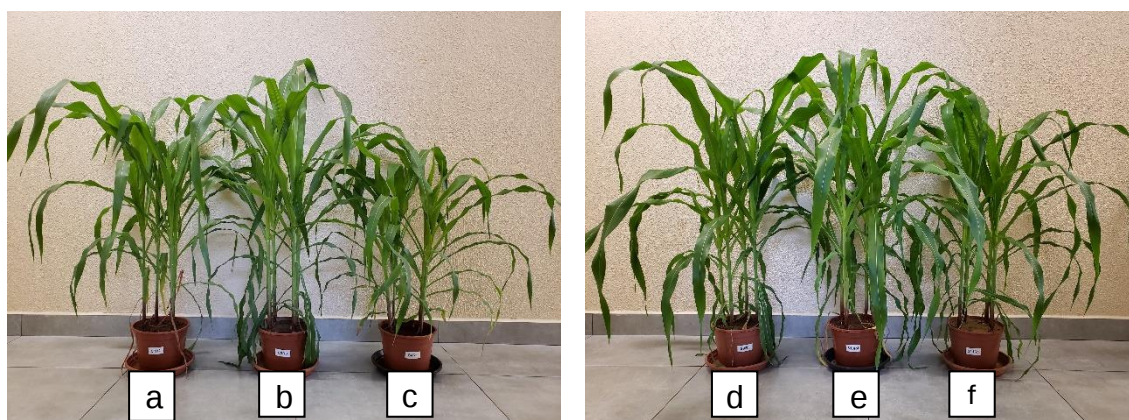


Figura 6. Plantas dos solos 1 (a), 2 (b), 3(c), 7 (d), 8 (e) e 9 (f) no dia da colheita.

Os dados  $Mn_{ac}$  foram correlacionados com teor de argila, COT, COxP e Mn-DTPA. Os valores de “r” das correlações estão na Tabela 4. Quando foram usados os dados obtidos com os treze solos, os atributos do solo apresentaram correlação significativa entre si, mas nenhum deles apresentou correlação com  $Mn_{ac}$ . Considerando que o  $Mn_{ac}$  é a medida mais exata da disponibilidade, a ausência de correlação implica que teor de argila, COT, COxP e Mn-DTPA não explicaram o Mn acumulado pelas plantas que cresceram no conjunto de solos avaliado. Observando a dispersão dos dados foi possível verificar que a ausência de correlação foi causada pelos solos com maior teor de argila. Por isso, foi feita

a separação dos solos em dois conjuntos: solos com teor de argila  $\geq 33\%$  e  $< 33\%$  (Tabela 4).

Tabela 4. Coeficientes de correlação obtidos entre teores de argila, COT, COxP, Mn-DTPA e Mn<sub>ac</sub>, considerando todos os solos avaliados e por conjunto em função do teor de argila  $\geq$  ou  $<$  que 33%.

|                                 | COT                   | COxP                  | Mn DTPA               | Mn <sub>ac</sub>      |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Todos os solos                  |                       |                       |                       |                       |
| Textura                         | 0,74724**             | 0,85821**             | 0,70394**             | -0,1134 <sup>NS</sup> |
| COT                             | ‡                     | 0,96203**             | 0,58281**             | -0,1060 <sup>NS</sup> |
| COxP                            |                       | ‡                     | 0,65389**             | -0,0559 <sup>NS</sup> |
| Mn DTPA                         |                       |                       | ‡                     | 0,2235 <sup>NS</sup>  |
| Mn <sub>ac</sub>                |                       |                       |                       | ‡                     |
| Solos com $\geq 33\%$ de argila |                       |                       |                       |                       |
| Textura                         | 0,09442 <sup>NS</sup> | 0,22364 <sup>NS</sup> | 0,44058 <sup>NS</sup> | 0,14930 <sup>NS</sup> |
| COT                             | ‡                     | 0,94176**             | 0,18932 <sup>NS</sup> | -0,0680 <sup>NS</sup> |
| COxP                            |                       | ‡                     | 0,25008 <sup>NS</sup> | -0,0843 <sup>NS</sup> |
| Mn DTPA                         |                       |                       | ‡                     | 0,39905 <sup>NS</sup> |
| Mn <sub>ac</sub>                |                       |                       |                       | ‡                     |
| Solos com $< 33\%$ de argila    |                       |                       |                       |                       |
| Textura                         | 0,85771**             | 0,95842**             | 0,82825**             | 0,95070**             |
| COT                             | ‡                     | 0,94310**             | 0,60955**             | 0,91309**             |
| COxP                            |                       | ‡                     | 0,69085**             | 0,95315**             |
| Mn DTPA                         |                       |                       | ‡                     | 0,83835**             |
| Mn <sub>ac</sub>                |                       |                       |                       | ‡                     |

<sup>NS</sup> Não significativo; \* Significativo a 5%; \*\* Significativo a 1%

Nos solos com menos de 33% de argila (n=6), houve correlações positivas e estreitas entre todas as variáveis consideradas (COT, COxP, Mn DTPA, Argila e Mn<sub>ac</sub>), indicando que, quando uma variável aumenta, a outra variável na correlação também aumenta. Em contrapartida, nos solos com 33% ou mais de argila (n=7), não houve correlação entre as variáveis, exceto entre COT e COxP (0,9417, Tabela 4). Independentemente de como o conjunto de dados foi analisado, COxP e COT apresentaram estreita correlação. Segundo CULMAN *et al.* (2012), esse comportamento acontece pela semelhança entre os métodos utilizados para a determinação das duas variáveis, os quais são baseados na oxidação parcial (COxP) e total (COT) do estoque de carbono orgânico do solo.

As divergências entre os dois grupos de solos, em relação aos atributos do solo (argila, COT, COxP e Mn-DTPA), podem ser explicadas pelas diferenças de material de origem e uso e manejo do solo. A composição do material de origem influencia diretamente nas características químicas e granulométricas dos solos, gerando solos semelhantes em alguns aspectos e distintos em outros (NASCIMENTO *et al.*, 2002). Nas áreas de coleta também foram observadas diferenças de uso e manejo do solo, como os cultivos de cana-de-açúcar, seringueira, forrageiras, milho, preparo convencional do solo e diferentes vegetações nativas. Tais diferenças de uso e manejo interferem no acúmulo de COT e no COxP (HURISSO *et al.*, 2016).

No grupo de solos com menos de 33% de argila, a maior correlação do  $Mn_{ac}$  foi estabelecida com o COxP (0,9531, Tabela 04), mostrando que, quando as reservas minerais de Mn são baixas, a fração orgânica contribui significativamente no fornecimento de Mn para o milho (NASCIMENTO *et al.*, 2002). Considerando que a matéria orgânica é composta pelas frações lábil, estável e inerte, e que cada fração tem uma função específica, pode-se atribuir à fração lábil (FL) o maior potencial de fornecimento de nutrientes, entre eles o Mn. De acordo com STROSSER (2010), a FL da matéria orgânica do solo tem tempo de residência pequeno e é fonte de nutrientes, a fração estável tem tempo de residência maior e é a principal geradora de cargas, e a fração inerte pode persistir por séculos no solo, e tem como principal função a estabilização dos agregados.

No outro grupo de solos, as reservas minerais de Mn devem ser maiores (NASCIMENTO *et al.*, 2002), por isso a contribuição da fração orgânica para o

Mn acumulado diminuiu e a correlação entre carbono lábil e Mn disponível não ocorreu.

## 4.2 Experimento 2

Os resultados apresentados na Tabela 5 mostram diferenças significativas ( $P < 0,01$ ) nos teores de Mn ao analisar separadamente os fatores solo e dose. Isso indica que os solos apresentam teores de Mn distintos, enquanto as doses de Mn se mostraram eficazes em alterar o teor desse nutriente no solo. Entre os solos, os teores de Mn variaram de 0,830 a 19,415  $\text{mg dm}^{-3}$ . Com relação às doses, os teores oscilaram entre 6,277 e 7,731  $\text{mg dm}^{-3}$ , sendo que o maior teor foi observado na dose de 4  $\text{mg dm}^{-3}$  de Mn. Além disso, também houve interação entre os dois fatores ( $P < 0,05$ ), indicando que o efeito das doses variou de acordo com o solo.

Tabela 5. Efeitos das doses de manganês sobre a disponibilidade de Mn nos solos.

| Dose de Mn<br>( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) | Solo                                                     |         |         | Média   |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------|---------|---------|
|                                                    | 1                                                        | 4       | 8       |         |
|                                                    | ----- Mn-DTPA ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) ----- |         |         |         |
| 0                                                  | 18,171                                                   | 0,405   | 0,256   | 6,277 b |
| 2                                                  | 18,954                                                   | 0,859   | 0,677   | 6,830 b |
| 4                                                  | 20,904                                                   | 1,288   | 1,002   | 7,731 a |
| 6                                                  | 19,632                                                   | 1,634   | 1,385   | 7,550 a |
| Média                                              | 19,415 a                                                 | 1,046 b | 0,830 b |         |
|                                                    | Teste F                                                  |         |         |         |
| Solo                                               | 4286,79**                                                |         |         |         |
| Dose                                               | 12,72**                                                  |         |         |         |
| Solo x Dose                                        | 2,37*                                                    |         |         |         |
| CV (%)                                             | 9,18                                                     |         |         |         |

\*Significativo a 5% \*\* Significativo a 1%

O incremento nos teores de Mn com o aumento das doses foi observado em todos os solos, exceto na transição das doses de 4  $\text{mg dm}^3$  para 6  $\text{mg dm}^3$  no solo 1. Esses resultados concordam com o que foi relatado por HEINRICHS *et al.* (2008), NASCIMENTO *et al.* (2002) e PINTO (2012).

O comportamento cumulativo do Mn nesses solos ajustou-se ao modelo linear (Figura 7), com baixos coeficientes angulares, que indicam que as doses aplicadas não resultaram em grandes aumentos na disponibilidade de Mn em comparação com a condição sem adubação. No solo 1, as porcentagens de Mn que ficaram disponíveis em relação ao Mn adicionado variaram de 38% a 106% (Tabela 6). Já no solo 4, essas porcentagens oscilaram entre 34% e 38%, e no solo 8, de 34% a 37% (Tabela 6).

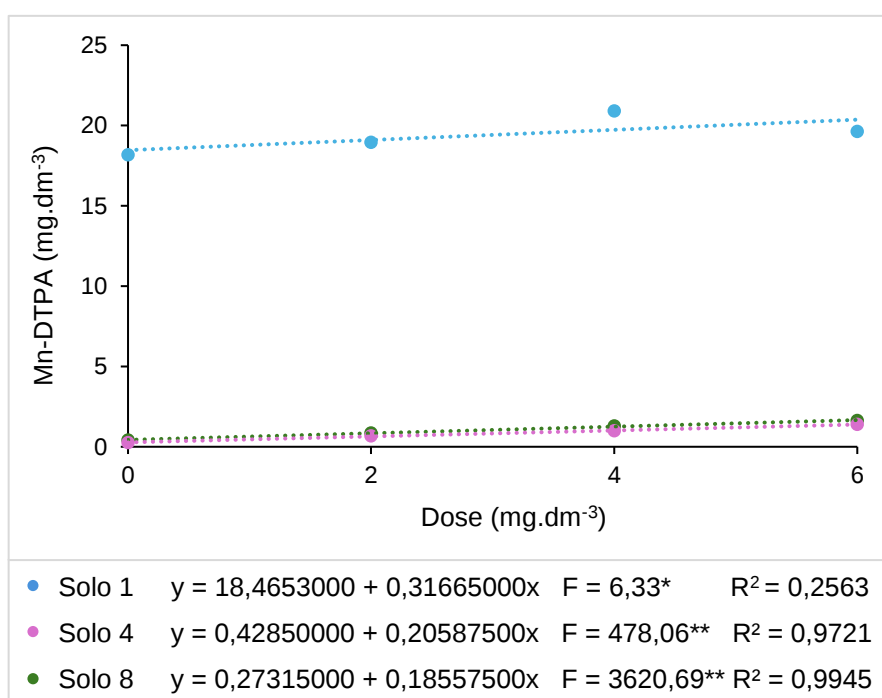


Figura 7. Teores de Mn-DTPA em função das doses aplicadas em cada solo.

| Tabela 6. Porcentual de Mn que permaneceu disponível em relação ao adicionado. |               |    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------|----|----|
| Dose de Mn<br>(mg.dm <sup>-3</sup> )                                           | Solo          |    |    |
|                                                                                | 1             | 4  | 8  |
|                                                                                | ----- % ----- |    |    |
| 2                                                                              | 61            | 38 | 37 |
| 4                                                                              | 106           | 37 | 33 |
| 6                                                                              | 38            | 34 | 34 |

Ao adicionar Mn ao solo, grande parte do nutriente tende a precipitar na forma de óxidos de Mn e, principalmente, a complexar com moléculas orgânicas.

No estudo realizado por MOREIRA *et al.* (2006), após a aplicação de  $24 \text{ mg dm}^{-3}$  de Mn, a quantidade desse nutriente na fração orgânica aumentou de  $5,4 \text{ mg kg}^{-1}$  (15,5% do total no solo) para  $35,1 \text{ mg kg}^{-1}$  (51,9% do total). Isso pode explicar as baixas respostas observadas nos solos após a aplicação do nutriente e reforça a importância da matéria orgânica no fornecimento do nutriente para as plantas.

No entanto, o Mn também pode participar da degradação de compostos orgânicos de duas maneiras: primeiro, os óxidos de Mn têm a capacidade de aceitar elétrons das moléculas orgânicas, sendo reduzidos a estados de valência mais baixos, como o  $\text{Mn}^{2+}$ ; segundo, o Mn pode estar associado a enzimas microbianas que degradam o COT, promovendo a mineralização do Mn complexado (LI *et al.*, 2021). Esses processos podem aumentar a disponibilidade do Mn no solo, o que possivelmente justifica o aumento de Mn além do esperado na dose de  $4 \text{ mg dm}^{-3}$  do solo 1.

As doses e solos utilizados interferiram significativamente ( $P < 0,01$ ) na produção de MS do milho, mas não houve interação entre os dois fatores (Tabela 7). Entre as doses, a menor produção de MS ocorreu com a aplicação de  $4 \text{ mg dm}^{-3}$  de Mn ( $12,82 \text{ g/vaso}$ ), enquanto a maior produção foi observada no tratamento controle ( $14,93 \text{ g/vaso}$ ). Em relação aos solos, a menor produção de MS foi no solo 1 ( $12,35 \text{ g/vaso}$ ) e a maior ocorreu no solo 8.

A maior produção média de MS no tratamento sem aplicação de Mn sugere que os teores naturais de Mn nos solos foram suficientes para atender às necessidades do milho durante os 30 dias de experimento. Esses resultados

contrastam com os relatados por FAGERIA *et al.* (2002) e LEITE *et al.* (2003), que observaram aumento na produção de MS com a aplicação de Mn. No entanto, RESENDE (2003) destacou que a diferença entre os resultados pode estar ligada à variação genética entre híbridos e a capacidade de aproveitamento do Mn.

Tabela 7. Efeitos das doses de Mn sobre a produção de MS do milho.

| Dose de Mn<br>(mg.dm <sup>-3</sup> ) | Solo                    |         |         | Média    |
|--------------------------------------|-------------------------|---------|---------|----------|
|                                      | 1                       | 4       | 8       |          |
|                                      | ----- MS (g/vaso) ----- |         |         |          |
| 0                                    | 13,31                   | 13,68   | 17,81   | 14,93 a  |
| 2                                    | 12,59                   | 13,96   | 13,84   | 13,46 b  |
| 4                                    | 11,04                   | 13,25   | 14,17   | 12,82 b  |
| 6                                    | 12,46                   | 14,30   | 15,08   | 13,95 ab |
| Média                                | 12,35 c                 | 13,80 b | 15,23 a |          |
| Teste F                              |                         |         |         |          |
| Solo                                 | 18,63**                 |         |         |          |
| Dose                                 | 5,36**                  |         |         |          |
| Solo x Dose                          | 2,21 <sup>NS</sup>      |         |         |          |
| CV (%)                               | 9,67                    |         |         |          |

\*\* Significativo a 1%

Os valores de Mn<sub>ac</sub> (Tabela 8) nas plantas apresentaram diferenças significativas (P<0,01) quando os fatores, dose e solo, foram analisados separadamente e, houve também interação entre eles. Entre as doses aplicadas, o tratamento controle, sem adubação com Mn, apresentou a menor média de Mn<sub>ac</sub> (1,524 mg/vaso), enquanto a dose de 6 mg dm<sup>-3</sup> resultou na maior média (2,481 mg/vaso). Em relação aos solos, o solo 8 apresentou a menor média de Mn<sub>ac</sub> (1,630 mg/vaso), enquanto o solo 1 apresentou a maior média (2,868 mg/vaso). O acúmulo médio de Mn no solo 1 foi influenciado pela maior disponibilidade de Mn, combinado à menor produção de MS das plantas, o que resultou na concentração do elemento na planta (JARREL; BEVERLY, 1981).

Tabela 8. Efeitos das doses de Mn sobre o  $Mn_{ac}$  nas plantas.

| Tabela 6. Efeitos das doses de Mn sobre o Mn <sub>ac</sub> nas plantas. |                                        |         |         |          |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------|---------|----------|
| Dose de Mn<br>(mg.dm <sup>-3</sup> )                                    | Solo                                   |         |         | Média    |
|                                                                         | 1                                      | 4       | 8       |          |
|                                                                         | ----- Mn <sub>ac</sub> (mg/vaso) ----- |         |         |          |
| 0                                                                       | 2,812                                  | 1,007   | 0,753   | 1,524 c  |
| 2                                                                       | 3,037                                  | 1,572   | 1,384   | 1,998 b  |
| 4                                                                       | 2,757                                  | 2,172   | 1,903   | 2,277 ab |
| 6                                                                       | 2,863                                  | 2,686   | 2,481   | 2,677 a  |
| Média                                                                   | 2,868 a                                | 1,859 b | 1,630 b |          |
| Teste F                                                                 |                                        |         |         |          |
| Solo                                                                    | 46,11**                                |         |         |          |
| Dose                                                                    | 18,76**                                |         |         |          |
| Solo x Dose                                                             | 5,09**                                 |         |         |          |
| CV (%)                                                                  | 18,30                                  |         |         |          |

\*\* Significativo a 1%

Os valores de  $Mn_{ac}$  em função das doses aplicadas nos solos 4 e 8 ajustaram-se ao modelo linear (Figura 8), com coeficientes de correlação altos e positivos, o que corrobora com os resultados de FAGERIA (2002) e LEITE *et al.* (2003). Por outro lado, no solo 1, os resultados não se ajustaram significativamente aos modelos testados, o que indica que, embora as doses aplicadas tenham aumentado o Mn disponível no solo, esse incremento não foi acompanhado por aumento correspondente no  $Mn_{ac}$ .

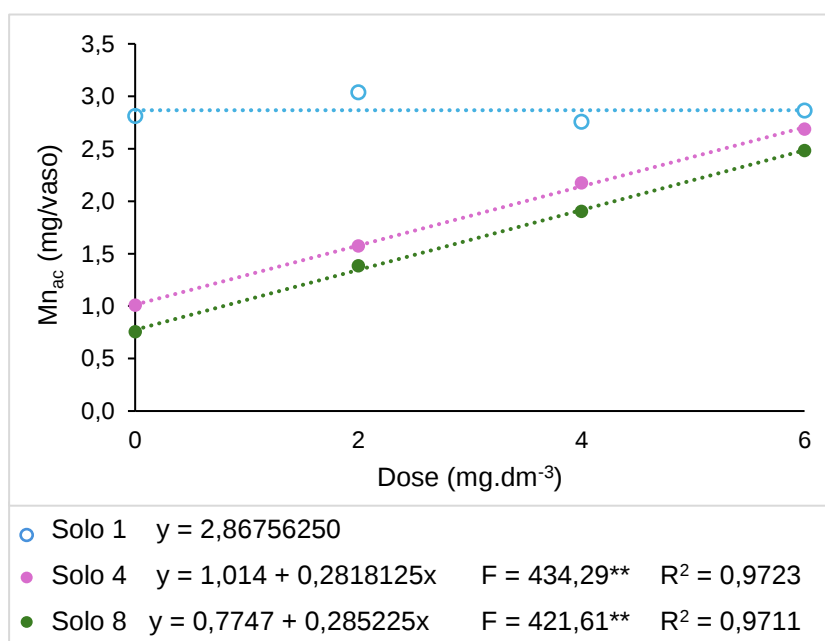


Figura 8. Acúmulo de manganês na matéria seca das plantas em função das doses aplicadas.

Vale ressaltar que, na dose de  $6 \text{ mg dm}^{-3}$ , os valores de  $\text{Mn}_{\text{ac}}$  entre os três solos não apresentaram diferenças. As razões para esse comportamento provavelmente estão relacionadas ao extrator utilizado (DTPA-TEA, pH 7,3), aos teores de CO dos solos e à acidificação provocada pelas adubações nitrogenadas e absorção dos nutrientes. O DTPA extrai o Mn livre em solução ao formar complexos solúveis, o que reduz a atividade do metal em solução. Como resposta, ocorre a dessorção do Mn da fase sólida, reabastecendo a solução do solo. Esse processo continua até que a força de adsorção do Mn aos adsorventes da fase sólida seja tão forte quanto o complexo formado com o DTPA (ABREU *et al.*, 2001). No solo 1, grande parte do Mn-DTPA provavelmente está estabilizado na matéria orgânica, o que pode ter limitado sua disponibilidade durante o experimento. Em contrapartida, os solos 4 e 8 possuem menor poder tampão, tornando-os mais suscetíveis à acidificação e, conseqüentemente, ao aumento da disponibilidade de Mn, o que permitiu que esses solos fornecessem Mn em quantidade suficiente para se equipararem ao solo 1.

## **5. CONCLUSÕES**

O carbono orgânico lábil (COxP) e o carbono orgânico total (COT) contribuíram para a disponibilidade de manganês em solos arenosos e areno-argilosos, mas independentemente do COxP e do teor de Mn no solo, as plantas de milho não responderam à adubação e, ainda, cresceram mais e acumularam mais MS na condição sem adubação.

## 6. LITERATURA CITADA

ABREU, C. A. de *et al.* Determinação de cobre, ferro, manganês, zinco, cádmio, cromo, níquel e chumbo em solos usando a solução de DTPA em pH 7,3. In: VAN RAIJ, B. *et al* (ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. Cap. 16. p. 240-250.

ABREU, C. A. de *et al.* Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. *et al* (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. Cap. 11. p. 645-736.

ALEJANDRO, S. *et al.* Manganese in Plants: from acquisition to subcellular allocation. **Frontiers In Plant Science**, v. 11, p. 517-877, 2020.

AMAO, Y. *et al.* Effect of manganese and calcium ions on the photoinduced water oxidation with photosynthesis organ grana from green plant. **Applied Catalysis B: Environmental**, Otta, v. 97, n. 1-2, p. 36-40, 2010.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. **Experimentação agronômica & AgroEstat**: Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos. Jaboticabal: Multipress, 2015. 396p.

BOARETTO, R. M. *et al.* Micronutrientes. In: CANTARELLA, Heitor *et al* (ed.). **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, Cap. 2, p. 121-129, 2022.

BORGES, I. D. *et al.* Micronutrients accumulation at different maize development stages. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1018-1025, 2009.

BORKERT, C.M. Manganês. In: CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E. (ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba, POTAFOS, p.173-190. 1991.

BRADL, H. B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. **Journal Of Colloid And Interface Science**, v. 277, n. 1, p. 1-18, set. 2004.

BROADLEY, M. *et al.* Function of nutrients: micronutrients. In: MARSCHNER, P. (ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed.: Academic Press, Cap. 7, p. 202-203, 2012.

CAIRES, E. F. *et al.* Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1011-1022, dez. 2002.

CAMARGO, A. O. *et al.* **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2009. 77p. (Boletim técnico, 106)

CAMARGO, O. A. de *et al.* Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M. E. *et al.* (ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: Cnpq/Fapesp/Potafos, 2001. Cap. 5. p. 89-124.

CARMO, C. A. F. S. *et al.* **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41p. (Circular técnica, 6)

CONSTANTOPOULOS, G. Lipid metabolism of manganese-deficient Algae. **Plant Physiology**, v. 45, n. 1, p. 76-80, 1970.

CORPAS, F. J. *et al.* Plant peroxisomes: a nitro-oxidative cocktail. **Redox Biology**, v. 11, p. 535-542, 2017.

CULMAN, S. W. *et al.* Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. **Soil Science Society Of America Journal**, v. 76, n. 2, p. 494-504, 2012.

CUNHA, T. J. da *et al.* Matéria orgânica do solo. In: NUNES, R. R. *et al.* (org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Cubo, 2015. p. 273-293.

DATTA, S. P. *et al.* Labile soil organic carbon, soil fertility, and crop productivity as influenced by manure and mineral fertilizers in the tropics. **Journal Of Plant Nutrition And Soil Science**, v. 173, n. 5, p. 715-726, 2010.

DUARTE, A. P. *et al.* Milho. In: CANTARELLA, H *et al.* (ed.). **Boletim 100**. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: IAC, 2022. p.199-205.

DUVAL, M. E. *et al.* Labile soil organic carbon for assessing soil quality: influence of management practices and edaphic conditions. **Catena**, v. 171, p. 316-326, 2018.

ENGELSMA, G. A possible role of sivalent manganese ions in the photoinduction of phenylalanine Ammonia-Lyase. **Plant Physiology**, v. 50, n. 5, p. 599-602, 1972.

FAGERIA, N. K. Influência de micronutrientes na produção de matéria seca e interação com outros nutrientes em culturas anuais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1765-1772, 2002.

FAGERIA, N. K.; NASCENTE, A. S. Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. **Advances in agronomy**, v. 128, p. 221-275, 2014.

FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista Agro@Mambiente On-Line**, v. 6, n. 1, p. 74, 1 maio 2012. Universidade Federal de Roraima.

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SOUZA, D. M. G.; LOBADO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. Cap.8, p.185-226.

GILKES, R. I.; MCKENZIE, R. M. Geochemistry and mineralogy of manganese in soils. In: GRAHAM, R. D. *et al* (ed.). **Manganese in soil and plants**. Kluwer Academic Publishers. Cap. 2. p. 23-35, 1988.

HANSEL, F. D.; OLIVEIRA, M. L. de. **Importância dos micronutrientes na cultura da soja no Brasil**. Piracicaba: IPNI, p. 1-8, 2016. (Informações Agrônomicas, 153)

HEINRICHS, R. *et al*. Atributos químicos do solo e produção do feijoeiro com a aplicação de calcário e manganês. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1157-1164, 2008.

HURISSO, T. T. *et al*. Comparison of permanganate-oxidizable carbon and mineralizable carbon for assessment of organic matter stabilization and mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, v. 80, n. 5, p. 1352-1364, 2016.

JARRELL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advance Agronomy**, Nova York, v. 34, p. 197-224, 1981.

LEITE, U. T. *et al*. Níveis críticos foliares de boro, cobre, manganês e zinco em milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 115-125, 2003.

LI, H. *et al*. A critical review on the multiple roles of manganese in stabilizing and destabilizing soil organic matter. **Environmental Science & Technology**, v. 55, n. 18, p. 12136-12152, 2021.

LIMA, D. V. *et al*. Calagem e manganês na cultura da soja em solos da região de Rio Verde-GO. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 37-46, 2007.

MACHADO, A. F. **Dissolução, doses de calcário, métodos e disponibilidade de nutrientes em cinco solos do Tocantins**. 2017. 58 f. Dissertação

(Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, UFT, Gurupi, 2017.

MILLALEO, R. *et al.* Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. **Journal Of Soil Science And Plant Nutrition**, v. 10, n. 4, p. 470-481, 2010.

MORAES, J. F. V.; DYNIA, J. F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo Gley Pouco Húmico sob inundação e após a drenagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 223-235, 1992.

MOREIRA, S. G. *et al.* Formas químicas, disponibilidade de manganês e produtividade de soja em solos sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 121-136, 2006

NASCIMENTO, C. W. A. *et al.* Dessorção, extração e fracionamento de manganês em latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 589-597, 2002.

OLIVEIRA JUNIOR, J. A. de *et al.* Efeitos do manganês sobre a soja cultivada em solo de Cerrado do Triângulo Mineiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 8, p. 1629-1636, 2000.

OLIVEIRA, T. F. *et al.* Uptake and exportation of micronutrients in high productivity corn fields. **Revista Agro@Mambiente On-Line**, Boa Vista, v. 13, p. 55-67, 2019.

ÖNNERUD, H. *et al.* Polymerization of monolignols by redox shuttle-mediated enzymatic oxidation. **The Plant Cell**, v. 14, n. 8, p. 1953-1962, 2002.

PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. Disponibilidade de manganês no solo: dificuldades e problemas na interpretação da análise para fins e fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, p.285-289, 1984.

PENDIAS, A. K.; MUKHERJEE, A. B.. Trace elements of group 7. In: PENDIAS, A. K.; MUKHERJEE, A. B. **Trace Elements from Soil to Human**. Springer, cap. 2. p. 193-204, 2007.

PINHO, R.G.V. *et al.* Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 2, p. 157-173, 2009.

PINTO, A. S. **Adubação com manganês em soja. Efeitos no solo e na planta**. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Unesp/Fcav, Jaboticabal, 2012.

POIRIER, N. *et al.* The chemical composition of measurable soil organic matter pools. **Organic Geochemistry**, v. 36, n. 8, p. 1174-1189, 2005.

POST, J. E. Manganese oxide minerals: Crystal structures and economic and environmental significance. **National Academy Of Sciences**, Irvine, v. 96, p. 3447-3454, 1999.

QUAGGIO, J. A. *et al.* Phosphorus and potassium soil test and nitrogen leaf analysis as a base for citrus fertilization. **Nutrient Cycling In Agroecosystems**, v. 52, n. 1, p. 67-74, 1998.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Manejo da acidez do solo. In: CANTARELLA, Heitor *et al* (ed.). **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, Cap. 2, p. 62, 2022.

RAIJ, B. van *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, SP: Instituto Agrônômico, 284p. 2001.

RESENDE, A. V. de. **Adubação com micronutrientes no cerrado**. Planaltina: Embrapa, 43p. 2003. (Documentos, 80)

ROMERO, C. M. *et al.* Patterns of change in permanganate oxidizable soil organic matter from semiarid drylands reflected by absorbance spectroscopy and Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. **Organic Geochemistry**, v.120, p.19-30, 2018.

SAMPAIO, J. A. *et al.* Manganês. In: LUZ, A. B. da; LINS, F. A. F. (ed.). **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Cetem/McT. Cap. 28. p. 634-648, 2008.

SCHMIDT, S. B. *et al.* Latent manganese deficiency in barley can be diagnosed and remediated on the basis of chlorophyll a fluorescence measurements. **Plant and Soil**, v. 372, n. 1-2, p. 417-429, 2013.

SCHMITD, S. B. *et al.* Manganese deficiency in plants: the impact on photosystem ii. **Trends In Plant Science**, v. 21, n. 7, p. 622-632, 2016.

SILVA, L. M. da; BERTI, M. P. da S.. Manganês no solo e nas plantas: uma revisão. **Scientific Electronic Archives**, v. 15, n. 3, p. 21-25, 2022.

SOUZA, D. M. G. de *et al.* Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. *et al* (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, Cap. 5, p. 224, 2007.

SPEHAR, C. R. Composição mineral da soja cultivada em solo sob cerrado com dois níveis de calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 5, p. 645-648, 1993.

STROSSER, E. Methods for determination of labile soil organic matter: an overview. **Journal Of Agrobiology**, v. 27, n. 2, p. 49-60, 1, 2010.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Nitrogênio da biomassa microbiana, em solo sob diferentes sistemas de manejo, estimado por métodos de fumigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 411-417, 1998.

WEIL, R. R. *et al.* Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for laboratory and field use. **American Journal of Alternative Agriculture**, p. 3-17, 2003.