

FERNANDO DE JESUS CUNHA

**CARACTERIZAÇÃO DE PÓ DE DESPOEIRAMENTO DA FABRICAÇÃO DE  
LIGAS DE MANGANÊS E AVALIAÇÃO DE SEU POTENCIAL AGRONÔMICO**

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2007

FERNANDO DE JESUS CUNHA

**CARACTERIZAÇÃO DE PÓ DE DESPOEIRAMENTO DA FABRICAÇÃO DE  
LIGAS DE MANGANÊS E AVALIAÇÃO DE SEU POTENCIAL  
AGRONÔMICO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Solos e Nutrição de Plantas, para  
obtenção do título de *Magister  
Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2007

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

C972c  
2007

Cunha, Fernando de Jesus, 1967-  
Caracterização de pó de despoeiramento da fabricação de  
ligas de manganês e avaliação de seu potencial agrônômico /  
Fernando de Jesus Cunha. – Viçosa, MG, 2007.  
ix, 101f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Renildes Lúcio Ferreira Fontes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 65-70

1. Plantas - Efeito do manganês. 2. Resíduos industriais.  
3. Manganês - Metalurgia. 4. Ligar de ferro-manganês. 5.  
Sulfato de manganês. I. Universidade Federal de Viçosa. II.  
Título.

CDD 22. ed. 631.422

FERNANDO DE JESUS CUNHA

**CARACTERIZAÇÃO DE PÓ DE DESPOEIRAMENTO DA FABRICAÇÃO DE  
LIGAS DE MANGANÊS E AVALIAÇÃO DE SEU POTENCIAL  
AGRONÔMICO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Solos e Nutrição de Plantas, para  
obtenção do título de *Magister  
Scientiae*.

APROVADA: 27 de agosto de 2007.

---

Prof. Luiz Eduardo Dias  
(Co-Orientador)

---

Prof. Nairam Félix de Barros  
(Co-Orientador)

---

Prof. Jaime Wilson Vargas de Mello

---

Prof. Antônio Teixeira de Matos

---

Prof. Renildes Lúcio Ferreira Fontes  
(Orientador)

*Aos meus pais "in memoriam" Antônio e  
Maria Tereza;*

*Aos meus irmãos "in memoriam" Ernane,  
Antônio Cláudio e José Luiz;*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida;

À Jesus, pelo exemplo;

À Espiritualidade amiga, pelo amparo;

Ao professor Renildes Lúcio Ferreira Fontes, pela orientação, pela confiança e pelas discussões enriquecedoras, que nortearam a conclusão deste trabalho;

Aos professores Luiz Eduardo Dias, Nairam Félix de Barros, Raphael Bragança Alves Fernandes, pela co-orientação, pelos aconselhamentos, pela paciência e pelo ótimo relacionamento;

À minha mãe Maria Tereza Cunha “*in memoriam*”, pelo seu positivismo alegre e contagiante, sempre constante em meus pensamentos durante toda a minha vida acadêmica. O seu exemplo de simplicidade, garra, humildade, carinho e dedicação, são provas do amor incondicional de mãe. As suas últimas palavras incentivadoras ficarão para sempre guardadas na lembrança, o que me motiva ainda mais, a dar continuidade à existência terrena;

Ao meu pai Antônio Teodoro Cunha “*in memoriam*”, pelo valioso exemplo de trabalho e luta constante que contribuíram e continuarão contribuindo para que eu busque mais inspirações na minha vida pessoal e profissional;

À estimada Maria da Conceição Cunha, carinhosamente, Tia Cunha, grande incentivadora nos meus estudos, que me criou, me educou e me mostrou o universo das letras;

Aos meus irmãos André, Geraldo e Simone, pela simples existência, a oportunidade de crescimento, a convivência e a infinita amizade. Destaco em especial o “mano” Vicente, pelo exemplo de vida, a simplicidade e a humildade, sempre contribuindo de forma constante na minha formação pessoal e profissional;

Aos meus irmãos “*in memoriam*”, Ernane, Antônio Cláudio e José Luiz, pela força espiritual e a inspiração nas horas difíceis, tê-los como irmãos aqui na Terra foi uma satisfação imensa;

Aos meus Avós “*in memoriam*”, tios, sobrinhos, primos e cunhados, que torceram e continuam torcendo por mim, embora às vezes distantes;

Aos professores Jaime Wilson Vargas de Mello (DPS) e Antônio Teixeira de Matos (DEA) pela contribuição com as críticas e sugestões durante a realização da defesa da dissertação;

Ao professor Júlio César Lima Neves (DPS), pela ajuda prestimosa nas análises estatísticas e encaminhamento final desta dissertação;

Aos professores do DPS e demais Departamentos da UFV, com os quais mantive contato durante a graduação e pós-graduação, na qual obtive conhecimentos e compartilhei experiências. Destaco como representante, a professora Maria Catarina Megumi Kasuya (DMB), que me orientou e iniciou na pesquisa científica;

Aos professores Carlos Machado (DEF), Carlos Ernesto Schaefer (DPS), José Antônio Grossi (DFT), Luiz Cláudio Costa (DEA) e Luiz Fontes (DPS) pelas cartas de recomendações, a presteza e confiança;

Às secretárias do DPS Luciana, Sandra, Sônia e Tatiane, pela paciência, a simpatia e atenção dispensada;

Aos colegas da Pós-Graduação do DPS Arlindo Faria, Carlos Pacheco, Clayton Siqueira, Igor Assis, Luiz Zanão, Paula Rodrigues, Thomas Oliveira e Walcrislei Vercelli pela ajuda valiosa e pelo ótimo convívio; Reforço agradecimento especial ao amigo, Jackson Brilhante de São José, pela oportunidade inicial de trabalho com a pesquisa que originou esta dissertação;

Aos amigos da república “Qui-quadrado” Alexandre Paiva, Daniel Nolasco, Felizardo, Hanney, Hélder Freitas, José Osmar, Maycon Campos, Renius Mello, Tesfahun Setotaw e Victor Latini, pela acolhida, a ajuda mútua e ao qual pude vivenciar com experiências enriquecedoras;

Aos estagiários Tales Siqueira, Felipe Leão, Lívia Moreira e Hellen Martins, pela amizade, pela ajuda na implantação, na condução e nas análises dos experimentos;

Aos funcionários Jorge Orlando e Zélia (Laboratório de Fertilidade do Solo); Claudinho, Bené e Fabinho (Laboratório de Física do Solo); Geraldo Robésio (Laboratório de Geoquímica Ambiental); Carlinhos e Janilson (Laboratório de Espectrofotometria de Absorção Atômica); Cardoso, Beto e Geraldo (Laboratório de Solos de Ecossistemas Florestais) e Ciro (Supervisor de Estufas e Casa de Vegetação), pela prestimosa ajuda durante as atividades laboratoriais e em casa de vegetação. Em especial, destaco a brilhante pessoa

de Carlos Antônio da Fonseca, chefe do Laboratório de Fertilidade do Solo, pela amizade, o apoio e a prestimosa atenção para com os meus trabalhos;

Aos meus velhos e amigos do alojamento “Velho”, em especial aos eternos, Arinos, Barão, Bené, Leitinho, Dinei, Dudu, Edmo, Joãzinho, Halley, Marcão, Duboc, Victor, Jegão, Fabiano, Linqinho, Jaguar, Robichinha, Maureza, Tiagão, Vitão, Paulão, Giraia, Massaranduva e Marcelão, pela convivência, as “jogatinas”, as “concentrações”, as trocas de experiências me proporcionaram grande aprendizado e crescimento pessoal;

Aos meus amigos dos alojamentos pós, posinho, novo, feminino e novíssimo, destaco em especial, as “cidinhas”, André Gomes, Lindão, Darlene, Boquinhas, Magalzinho, Neuber, Gigi, Erikinha, Ana Alice, Marcela, Evelise, Ledinha, Giane, pela acolhida, as “confusões”, os momentos de estudo e apertos.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), especialmente ao Departamento de Solos (DPS), pela concretização deste sonho.

À Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) e à Companhia Rio Doce Manganês (RDM), pelo apoio financeiro durante toda a pesquisa;

À Sociedade de Investigações Florestais (SIF), pelo gerenciamento dos recursos financeiros;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão das bolsas de estudos;

A todos os autores citados neste trabalho;

A todos que, que não foram aqui mencionados por algum motivo de esquecimento, mas que certamente serão lembrados pela valiosa contribuição que deram para a realização deste trabalho.

*Sinceramente,  
a minha eterna gratidão!*

## BIOGRAFIA

Fernando de Jesus Cunha, filho de Antônio Teodoro Cunha “*in memoriam*” e Maria Tereza Cunha “*in memoriam*”, nasceu em Contagem/MG, em 1º de novembro de 1967.

Graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em 28 de janeiro de 2005.

Em março de 2005 ingressou no Departamento de Solos da UFV como aluno especial, desenvolvendo projeto de pesquisa com bolsa de aperfeiçoamento.

Iniciou, em agosto de 2005, o Curso de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Solos e Nutrição de Plantas da UFV, desenvolvendo pesquisa na área de *Impactos ambientais pelo uso da terra*, submetendo à defesa de tese em 27 de agosto de 2007 para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

## ÍNDICE

|   |             |
|---|-------------|
| <b>RESUMO .....</b>   | <b>ix</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>   | <b>xxi</b>  |
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>1</b>    |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>  | <b>2</b>    |
| 2.1. Definições .....   | 2           |
| 2.1.1. Resíduos sólidos.....  | 2           |
| 2.1.2. Resíduos sólidos industriais.....  | 2           |
| 2.2. Normas brasileiras .....   | 2           |
| 2.3. Periculosidade de um resíduo.....  | 3           |
| 2.4. Classificação dos resíduos .....   | 3           |
| 2.4.1. Resíduo Classe I – Perigosos.....  | 4           |
| 2.4.2. Resíduo Classe II – Não perigosos.....   | 4           |
| 2.5. Uso de resíduo sólido como corretivo e fertilizante.....   | 6           |
| 2.6. Metais pesados.....  | 7           |
| <b>CAPÍTULO I .....</b>   | <b>1010</b> |
| <b>CARACTERIZAÇÃO DE PÓ DE DESPOEIRAMENTO E AVALIAÇÃO DO<br/>SEU ENQUADRAMENTO SEGUNDO A RESOLUÇÃO Nº. 26, DE 30/03/1998,<br/>DA CETESB .....</b> | <b>10</b>   |
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>10</b>   |
| <b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>   | <b>11</b>   |
| 2.1. Procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos,<br>ABNT NBR 10005 (2004) .....   | 13          |
| 2.2. Procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos<br>sólidos, ABNT NBR 10006 (2004) .....                                      | 15          |
| 2.3. Análise dos teores totais de metais .....  | 17          |
| <b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>   | <b>18</b>   |
| <b>ENQUADRAMENTO DO PÓ DE DESPOEIRAMENTO DE SEGUNDO A<br/>RESOLUÇÃO Nº. 26, DE 30/03/1998, DA CETESB.....</b>                                     | <b>25</b>   |
| <b>4. CONCLUSÕES.....</b>   | <b>32</b>   |

|  |             |
|--|-------------|
| <b>CAPÍTULO II .....</b>   | <b>33</b>   |
| <b>MANGANÊS DISPONÍVEL EM MEHLICH-3 E CLORETO DE CÁLCIO EM</b>   |             |
| <b>AMOSTRAS DE SOLOS INCUBADAS COM PÓ DE DESPOEIRAMENTO ...</b>  | <b>33</b>   |
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>33</b>   |
| <b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>                                | <b>34</b>   |
| Extração do Mn disponível em Mehlich-3 e CaCl <sub>2</sub> ..... | 39          |
| <b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                            | <b>43</b>   |
| <b>4. CONCLUSÕES.....</b>  | <b>4751</b> |
| <br>   |             |
| <b>CAPÍTULO III .....</b>  | <b>5252</b> |
| <b>AVALIAÇÃO DE PÓ DE DESPOEIRAMENTO COMO FONTE DE</b>           |             |
| <b>MANGANÊS PARA O CULTIVO DE ESPÉCIES VEGETAIS .....</b>        | <b>52</b>   |
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>52</b>   |
| <b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>                                | <b>54</b>   |
| <b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                            | <b>599</b>  |
| <b>4. CONCLUSÕES.....</b>  | <b>655</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                          | <b>666</b>  |
| <b>APÊNDICE .....</b>  | <b>722</b>  |

## RESUMO

CUNHA, Fernando de Jesus, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2007. **Caraterização de Pó de Despoeiramento da Fabricação de Ligas de Manganês e Avaliação de seu Potencial Agronômico.** Orientador: Renildes Lúcio Ferreira Fontes. Co-orientadores: Luiz Eduardo Dias e Nairam Félix de Barros.

O Pó de Despoeiramento (PD) é um resíduo sólido industrial proveniente dos processos da metalurgia do minério de manganês (Mn). Este material contém concentração significativa de Mn. A unidade industrial responsável pela produção de aproximadamente 2000 toneladas/mês de PD's é a Rio Doce Manganês (RDM), empresa do grupo da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), atualmente, Companhia VALE. Os PD's foram caracterizados quimicamente (etapa 1) e em seguida, avaliados como fonte de Mn para plantas de soja (*Glicine max L.*), da variedade Conquista e plantas de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), do híbrido *Urograndis*, em casa de vegetação (etapa 2). Para a etapa 1 da pesquisa, foram escolhidos dez materiais de PD's coletados nas unidades industriais de Barbacena/MG, Ouro Preto/MG, Salvador/Ba e Corumbá/MS, respectivamente. As amostras de PD's foram analisadas segundo os procedimentos de lixiviação e solubilização de resíduos sólidos (ABNT NBR 10005 e 10006, 2004). Os teores de metais dos PD's foram quantificados por meio de espectrometria em emissão ótica com plasma acoplado induzido (ICP-OES) e espectrometria por absorção atômica (AAS). Em seguida, foi realizado o experimento em casa de vegetação (etapa 2), utilizando-se amostras de dois Latossolos (LVa), um argiloso (TG) e outro arenoso (TM), das cidades Viçosa/MG e Três Marias/MG, respectivamente. Como fontes de Mn, foram avaliadas amostras dos PD's in natura proveniente de cinco unidades industriais da RDM/CVRD e dois fertilizantes preparados a partir dos PD's: o sulfato de manganês (SM-PD) e o óxido de manganês (OM-PD). Foi incluído como tratamento controle um outro fertilizante sulfato de manganês comercial (SM-Com). Os materiais foram aplicados em quantidade equivalente às doses 0,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 30,0 mg kg<sup>-1</sup> de Mn, com exceção do OM-PD aplicado apenas nas doses 2,5 e 30,0 mg kg<sup>-1</sup> de Mn. As plantas foram coletadas e secas em estufas com ventilação forçada de ar quente. Em seguida, determinaram-se os teores de P, Mn, Zn, Cu, Fe, Cr, Ni, Ti e Se, com

extração de ácido nítrico e perclórico (3:1), por espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado induzido (ICP-OES). Os dados foram submetidos à análise de regressão linear múltipla, avaliando-se a produção da massa de matéria seca, concentração e acúmulo dos elementos químicos na parte aérea e raízes das plantas de soja e eucalipto. Os resultados obtidos com os extratos solubilizados (etapa 1), apresentaram teores de As, Pb, Se, Hg, Mn, Fe e Al em valores acima dos limites máximos estabelecidos pela ABNT (Anexo G, ABNT NBR 10004, 2004). Por outro lado, os teores de metais encontrados nos extratos lixiviados não resultaram em valores elevados, segundo a referida norma. Não houve resposta significativa com as fontes de Mn aplicadas nos tratamentos, no que diz respeito à produção da massa de matéria seca das plantas de soja e eucalipto (etapa 2). Não houve também, acúmulo de metais pesados nos tecidos das mesmas em níveis que representassem qualquer risco ao seu desenvolvimento. Os PD's in natura disponibilizaram Mn às plantas cultivadas, em quantidades comparáveis às liberadas ao SM-PD, OM-PD e o SM-Com. Conclui-se que, tanto os PD's in natura, quanto aos materiais produzidos a partir dos PD's (SM-PD e OM-PD) foram eficientes como fontes de Mn às plantas de soja e eucalipto cultivadas em casa de vegetação. Os resultados obtidos indicam que o uso do PD pode ser viável, como fonte de Mn para a indústria de fertilizantes.

## ABSTRACT

CUNHA, Fernando de Jesus, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, August 2007. **Characterization of a dusty from the siderurgical industry to be used as source of manganese and avaluation in the agriculture potential.** Adviser: Renildes Lúcio Ferreira Fontes. Co-Advisers: Luiz Eduardo Dias and Nairam Félix de Barros.

The dusty from the siderurgical industry (PD) it is an industrial solid residue originating from the processes of the metallurgy of the ore of manganese (Mn). This material contains significant concentration of Mn. The responsible industrial unit for the production of approximately 2000 ton/month of PD's is Rio Doce Manganês (RDM), company of the group of the Company is Worth of Rio Doce (CVRD), nowadays, Company is Worth. PD's were characterized chemically (stage 1) and soon afterwards, appraised as source of Mn for soy plants (*Glicine max L.*), of the variety it Conquers and eucalyptus plants (*Eucalyptus globulus*), of the hybrid Urograndis, vegetation home (stage 2). Para the stage 1 of the research, they were chosen ten materials of PD's collected in the industrial units of Barbacena/MG, Ouro Preto/MG, Salvador/Ba and Corumbá/MS, respectively. The samples of PD's were analyzed according to the lixiviação procedures and solubilization of solid residues (ABNT NBR 10005 and 10006, 2004). The tenors of metals of PD's were quantified through espectrofotometry in optic emission with plasma coupled induced (ICP-OES) and espectrofotometry for atomic absorption (AAS). Soon afterwards, the experiment was accomplished vegetation home (stage 2), being used samples of two Latossolos (LVa), a loamy one (TG) and other sandy (TM), of the cities Viçosa/MG and Three Marias/MG, respectively. As sources of Mn, were appraised samples of PD's in natura originating from five industrial units of RDM/CVRD and two prepared fertilizers starting from PD's: the sulfates of manganese (SM-PD) and the oxide of manganese (OM-PD). it was included as treatment controls another fertilizer sulfate of commercial manganese (SM-with). The materials were applied in equivalent amount to the doses 0,0; 2,5; 5,0; 7,5 and 30,0 mg kg<sup>-1</sup> of Mn, except for applied OM-PD just in the doses 2,5 and 30,0 mg kg<sup>-1</sup> of Mn. The plants were collected and droughts in greenhouses with ventilation forced of hot air. Soon afterwards, they were determined the tenors of P, Mn, Zn, Ass, Faith, Cr, Ni, You and If, with

extraction of nitric acid and perchloric (3:1), for espectrofotometry of optical emission with plasma coupled induced (ICP-OES). The data were submitted to the analysis of multiple lineal regression, being evaluated the production of the mass of dry matter, concentration and accumulation of the chemical elements in the aerial part and roots of the soy plants and eucalyptus. The results obtained with the extracts solubilizados (stage 1), they presented tenors of The, Pb, If, Hg, Mn, Faith and Al in values above the maximum limits established by ABNT (I Enclose G, ABNT NBR 10004, 2004). on the other hand, the tenors of metals found in the leached extracts didn't result in high values, second referred her norm. There was not significant answer with the sources of applied Mn in the treatments, in what he/she concerns the production of the mass of dry matter of the soy plants and eucalyptus (stage 2). there also was not, accumulation of heavy metals in the fabrics of the same ones in levels that represented any risk to his/her development. PD's in natura made available Mn to the cultivated plants, in amounts comparable to liberated them to SM-PD, OM-PD and the SM-COM. It is ended that, so much PD's in natura, as for the materials produced starting from PD's (SM-PD and OM-PD) they were efficient as sources of Mn to the soy plants and eucalyptus cultivated vegetation home. The obtained results indicate that the use of PD can be viable, as source of Mn for the industry of fertilizers.

## 1. INTRODUÇÃO

A Companhia Rio Doce Manganês (RDM) é a responsável pelas seis unidades de metalurgia do minério de manganês, da VALE (antiga Companhia VALE do Rio Doce - CVRD) no Brasil. Estas unidades industriais utilizam matérias-primas provenientes das regiões de Barbacena/MG, Ouro Preto/MG, Salvador/Ba e Corumbá/MS. Estes minérios de Mn por serem advindos de diferentes regiões do Brasil, apresentam também características físico-químicas diversas.

Com a instalação de filtros de mangas na saída dos fornos para reduzir as emissões atmosféricas de poeira, durante os processos da metalurgia do minério de Mn, as unidades industriais da VALE (antiga CVRD) passaram a produzir um subproduto advindo da contenção de particulados finos nestes filtros, denominado de Pó de Despoeiramento (PD).

As seis unidades industriais da VALE produzem em torno de 2000 toneladas de PD's por mês, o que originou grande problema para a empresa, uma vez que este material tem de ser estocado adequadamente, acarretando no aumento dos custos, demanda de áreas cada vez maiores para o depósito e a possibilidade destes resíduos causarem impactos ambientais.

Atualmente, é inviável o reaproveitamento dos PD's, devido à sua granulometria muito fina, o que impede o fluxo de oxigênio durante os processos de redução e fusão na fabricação das ligas de Mn. Dessa forma, esse cenário remete à necessidade urgente de se buscar usos alternativos para estes materiais, ou uma solução definitiva para seu armazenamento, a fim de minimizar os riscos de impactos ambientais.

O uso dos PD's como fonte de Mn para as plantas é uma das alternativas de aproveitamento, uma vez que estes materiais contêm concentrações significativas de Mn, que é um elemento essencial ao desenvolvimento de todas as espécies de plantas.

Este trabalho teve como objetivos, caracterizar os PD's da indústria de metalurgia do minério de Mn e avaliar o seu potencial agrônomo como fonte de Mn para plantas de soja e eucalipto. Adicionalmente, investigou-se a possibilidade de acúmulo de metais pesados nos tecidos das plantas cultivadas em casa de vegetação.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Definições**

#### **2.1.1. Resíduos sólidos**

Aqueles resíduos no estado sólido, que resultam da atividade industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT NBR 10004, 2004).

#### **2.1.2. Resíduos sólidos industriais**

Os resíduos sólidos industriais (RSI) são definidos como, aqueles resíduos provenientes ou gerados durante o processo de transformação da matéria-prima em unidade industrial. Os RSI são resíduos muito variados apresentando características diversificadas, pois, dependem da atividade industrial desenvolvida, do processo produtivo empregado e do tipo de produto manufaturado (Azevedo, 2007).

### **2.2. Normas brasileiras**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui um conjunto de normas brasileiras (NBR) para a classificação dos resíduos sólidos.

A ABNT NBR 10004 (Classificação dos resíduos sólidos), classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente<sup>1</sup>;

---

<sup>1</sup> Os resíduos radioativos não são objetos desta Norma, pois são de competência da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

A ABNT NBR 10005 (Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos), fixa as condições exigíveis para lixiviação de resíduos tendo em vista a sua classificação.

A ABNT NBR 10006 (Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos), fixa as condições exigíveis para diferenciar os resíduos Classe II A e Classe II B;

A ABNT NBR 10007 (Amostragem de resíduos sólidos), fixa as condições exigíveis para amostragem, preservação e estocagem de amostras dos resíduos sólidos.

### **2.3. Periculosidade de um resíduo**

O conjunto de normas da ABNT permite a classificação dos resíduos sólidos e baseia-se, fundamentalmente, nas características que conferem periculosidade aos resíduos. Segundo a NBR 10004, a periculosidade de um resíduo é definida como a característica apresentada por esse resíduo, que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, pode apresentar:

- a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
- b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

### **2.4. Classificação dos resíduos**

A classificação constitui a primeira etapa no estabelecimento de um programa de gestão ambiental para os RSI. Normalmente, adota-se a NBR 10004 da ABNT de 2004 para esta classificação, por meio de três classes, segundo o grau de periculosidade: Classe I – resíduos perigosos; Classe II – resíduos não perigosos. A Classe II está subdividida em: Classe II A – resíduos não inertes e Classe II B – resíduos inertes.

### **2.4.1. Resíduo Classe I – Perigosos**

Aqueles que apresentam periculosidade, conforme definido em 2.3, ou uma das seguintes características de: Inflamabilidade, Corrosividade, Reatividade, Toxicidade e Patogenicidade; ou ainda constem nos anexos A ou B da ABNT NBR 10004, 2004.

### **2.4.2. Resíduo Classe II – Não perigosos**

Os códigos para alguns resíduos desta classe encontram-se no anexo H, ABNT NBR 10004, 2004. São exemplos de resíduos não perigosos: resíduos de restaurante (restos de alimentos), sucata de metais ferrosos, resíduos de madeira, bagaço de cana, resíduos de papel e papelão, resíduos de materiais têxteis entre outros<sup>2</sup>.

#### **2.4.2.1. Resíduo Classe II A – Não inertes**

Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos ou de resíduos Classe II B – Inertes, nos termos desta Norma. Os resíduos Classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

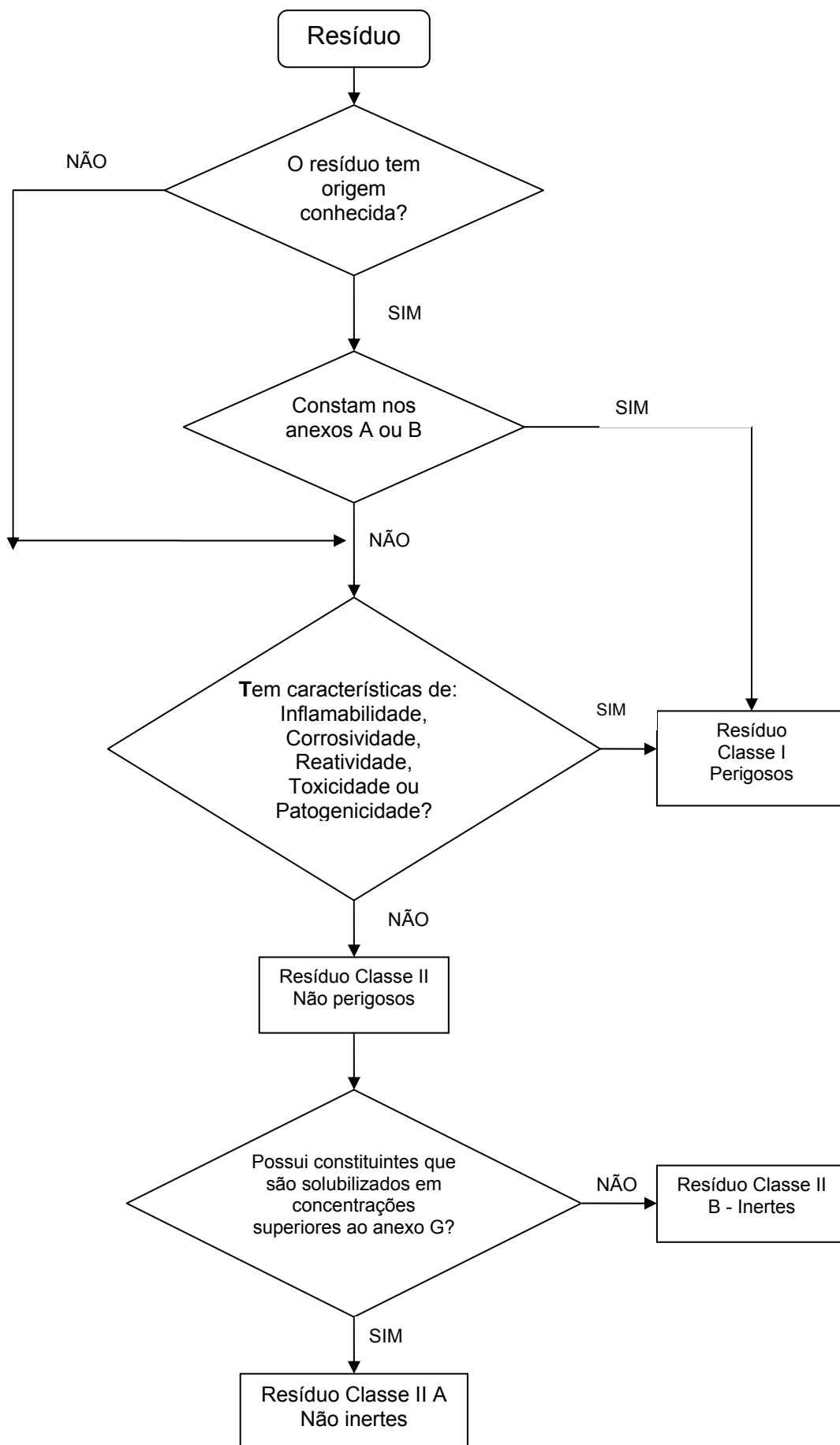
#### **2.4.2.2. Resíduo Classe II B – Inertes**

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, 2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, 2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (anexo G, ABNT NBR 10004, 2004).

A figura 1 mostra um fluxograma resumindo as etapas para a caracterização e classificação dos resíduos sólidos.

---

<sup>2</sup> Excluídos aqueles contaminados por substâncias constantes nos anexos C, D ou E e que apresentem características de periculosidade.



**Figura 1.** Caracterização e classificação de resíduos sólidos da ABNT NBR 10004, 2004.

## 2.5. Uso de resíduo sólido como corretivo e fertilizante

As indústrias siderúrgicas produzem vários resíduos que podem causar problemas ambientais, dependendo da forma e do local onde são descartados. Além disso, a disposição desses resíduos pode ser dispendiosa, gerando custos para a empresa. O aproveitamento de alguns desses materiais como fertilizante é uma forma de reduzir custos, bem como o impacto no ambiente (GUIDI *et al.*, 1988).

Muitos trabalhos têm mostrado o potencial de resíduos siderúrgicos como corretivos e fertilizantes (ACCIOLY, 1996; AMARAL-SOBRINHO *et al.*, 1997; ANDERSON e PARKPIAN, 1998; SILVA, 1999; SILVA, 2003; CORRÊA, 2006). PETRUZZELLI *et al.* (1989) afirmam que estes resíduos podem apresentar em sua constituição alguns metais pesados potencialmente tóxicos que podem provocar efeitos negativos em componentes bióticos e abióticos do ambiente quando utilizado na agricultura ou disposto de forma inadequada, pois, pode resultar na transferência desses metais pesados do solo para as plantas e na sua entrada na cadeia alimentar em teores acima dos aceitáveis.

MATOS *et al.* (1995) ressaltam que dependendo das características físicas e químicas do resíduo, a disponibilidade dos metais pesados nele contidos não é imediata, e sim gradual, com liberação à medida que o resíduo vai reagindo com os constituintes do solo. As propriedades físicas e químicas do solo também são importantes influenciando na disponibilidade dos metais para as plantas

Para AMARAL SOBRINHO (1993), os resíduos resultam das mais diversas atividades humanas. Em função de suas características específicas, eles podem apresentar periculosidade efetiva ou potencial à saúde humana, ou gerar impactos ao meio físico, biótico e sócio-econômico, exigindo, portanto, cuidados especiais quanto ao manuseio, acondicionamento, coleta, transporte e destino final.

FONTES e RIBEIRO (1999) mencionam que os resíduos industriais são materiais que, dependendo de suas características, têm potencial para serem utilizados como fontes de nutrientes quando adicionados ao solo. Sendo resíduos, há necessidade de serem descartados, o que gera custos e, muitas vezes, impactos ambientais. A utilização desses resíduos na agricultura,

seguindo-se critérios bem fundamentados na pesquisa, poderia ser uma alternativa para os agricultores reduzirem seus gastos com fertilizantes, além de ser uma forma economicamente viável para seu descarte pelas indústrias. Os estudos visando identificar resíduos industriais que poderiam ser usados como fontes de nutrientes, em alternativa aos fertilizantes tradicionais, tem sido tema de projetos de pesquisas que se justificam pelas implicações de ordem econômica e de controle da qualidade ambiental.

## **2.6. Metais pesados**

O emprego de alguns resíduos siderúrgicos como fertilizantes e corretivos agrícolas tem-se mostrado alternativa viável para o aproveitamento dos subprodutos de siderurgia. Entretanto, na utilização desses materiais, é necessário considerar, também, o teor de metais pesados que, em teores elevados, podem tornar-se tóxicos e limitar seu uso na atividade agrícola (MALAVOLTA, 1994). HARRISON (1997) ressalta que as alternativas de disposição dos diferentes tipos de resíduos industriais tem sido acompanhada da preocupação de disseminação de elementos metálicos indesejáveis, em concentrações que podem comprometer a qualidade dos ecossistemas.

Os metais são constituintes naturais das rochas e dos solos e, nessas condições, trazem menores riscos ao meio ambiente. Os elementos que possuem densidade superior a  $6 \text{ g cm}^{-3}$  ou raio atômico maior que 20 são considerados metais pesados mesmo sendo classificados como ametais ou semi-metais, como o As e Se (ALLOWAY, 1995; MEURER, 2004).

Esse termo (metal pesado) é de definição ambígua que, porém, vem sendo intensamente utilizado na literatura científica para se referir a um grupo de elementos que estão normalmente associados à poluição, contaminação e toxicidade, e inclui também alguns micronutrientes essenciais aos seres vivos como Cu, Zn, Mn, Co, Mo e Se e outros não essenciais como Pb, Cd, Hg, As, Ti e U. No caso desses últimos elementos, talvez o termo metais tóxicos seja melhor aplicado (ALLOWAY, 1995; AMARAL SOBRINHO, 1993; STEVENSON & COLE, 1999).

Segundo STEVENSON e COLE (1999) existem metais traço essenciais para plantas como Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo e Ni. Já o Co, Cr, Se e Sn não são

requeridos pelas plantas, embora sejam essenciais para animais. Enquanto que alguns outros, como As, Cd, Hg e Pb não são requeridos nem por plantas nem por animais, porém foram estudados extensivamente por serem potencialmente perigosos para plantas, animais e microrganismos.

É necessário que se faça a distinção entre contaminante e poluente. Contaminante é um elemento ou composto que ocorre em concentrações mais elevadas do que as naturais, enquanto que poluente é definido como aqueles elementos ou composto cuja concentração no meio é suficiente para provocar danos aos componentes bióticos (ALLOWAY, 1995).

ALLOWAY (1995) relata que os metais encontrados nas formas solúveis e trocáveis são aqueles que apresentam maior biodisponibilidade, sendo, portanto, as formas mais preocupantes. Segundo o autor, na forma solúvel, o metal está na forma iônica ou forma complexos orgânicos solúveis e é facilmente absorvido pelas plantas ou é lixiviado. Essa lixiviação ocorre quando a carga crítica do solo é superada ou reduzida devido à mudanças ambientais, não tendo, portanto capacidade de reter mais contaminante. Já na forma trocável, o metal ligado eletrostaticamente em sítios de adsorção carregados negativamente na matéria orgânica ou em minerais, pode ser facilmente trocado por íons presentes na solução do solo, sendo então biodisponibilizado (MEURER, 2004). STEVENSON & COLE (1999) afirmam que as concentrações desses elementos como íons livres na solução, ou como complexos quelatos-metálicos solúveis, são influenciados pelas reações químicas tais como fixação em superfícies de argilas e óxidos metálicos, complexação com substâncias húmicas, formação de minerais solúveis e alterações de potencial redox (Eh) e pH do solo e, que interferem na disponibilidade do elemento.

Os metais pesados são elementos não biodegradáveis e apresentam, geralmente, mais de um estado de oxidação que são responsáveis pelos processos de mobilidade, biodisponibilidade e toxicidade no solo. Esses processos são controlados pelos fenômenos de adsorção e dessorção dos metais pesados nos solos, reações de oxiredução e dissolução (ALLOWAY, 1995). Os mecanismos que atuam nos processos de inativação dos metais pesados nos solos são: complexação de superfície, adsorção de cátions

metálicos por óxidos de ferro, alumínio e manganês, complexação de cátions metálicos pela matéria orgânica e precipitação (MEURER, 2004).

A retenção dos metais pesados e conseqüentemente a vulnerabilidade a contaminação dos solos, se deve principalmente às propriedades ligadas aos fenômenos de adsorção e dessorção, citando-se entre as principais a capacidade de troca catiônica (CTC), área superficial específica (ASE), teores de óxidos (de ferro, alumínio e manganês), pH, teor de matéria orgânica, teor de argila, profundidade dos solos, tipo das argilas, entre outros (BLUM & WENZEL, 1991; DESAULES, 1991; KLIJN, 1991; SEQUI *et al.*, 1991; ALLOWAY, 1995; FONTES *et al.*, 2000; GOMES *et al.*, 2001; MEURER, 2004).

## **CAPÍTULO I**

# **CARACTERIZAÇÃO DE PÓ DE DESPOEIRAMENTO E AVALIAÇÃO DO SEU ENQUADRAMENTO SEGUNDO A RESOLUÇÃO Nº. 26, DE 30/03/1998, DA CETESB**

### **1. INTRODUÇÃO**

A Companhia VALE do Rio Doce – CVRD, atualmente, VALE, possui quatro minas de exploração do minério de manganês no Brasil: Azul, no Pará; Urucum, no Mato Grosso do Sul; Morro da Mina, em Minas Gerais; e Minérios Metalúrgicos, na Bahia. No Brasil, a unidade industrial responsável pela produção das ligas de manganês é a Rio Doce Manganês S.A. (RDM), com quatro plantas de beneficiamento dos minérios em Minas Gerais, uma no Mato Grosso do Sul e uma na Bahia.

Com a necessidade de instalação de filtros de mangas na saída dos fornos para reduzir as emissões atmosféricas de poeiras durante os processos de fabricação de ligas de manganês, as unidades industriais da VALE passaram a produzir um subproduto advindo da contenção de particulados finos nestes filtros. Este material recebe o nome de Pó de Despoeiramento (PD).

Atualmente as unidades industriais da VALE produzem aproximadamente 2 000 toneladas/mês de PD's, configurando-se um grande problema para a empresa uma vez que estes resíduos vêm sendo estocados acarretando custos e principalmente, riscos ambientais.

Estes resíduos contêm uma significativa concentração de Mn, porém, devido sua granulometria ser muito fina, torna-se, atualmente, inviável o seu reaproveitamento nos fornos, uma vez que poderia impedir o fluxo de oxigênio, durante os processos de redução e fusão.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar os PD's, segundo os critérios de procedimentos dos ensaios de lixiviação e solubilização de resíduos sólidos (ABNT NBR 10005 e 10006, 2004) e avaliar o seu enquadramento segundo a resolução nº. 26, de 30/03/1998 da CETESB.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a caracterização físico-química, foram coletadas dez amostras de PD's coletadas nas diferentes unidades industriais da VALE no Brasil (quadro 1 e Fig. 1).

Das amostras de PD's coletadas, foram retiradas subamostras de 100 g para verificação visual do estado físico (se sólido ou se contendo líquidos) e se haveria necessidade de reduzir o tamanho das partículas (análise granulométrica pela passagem dos materiais por peneira de 9,5 mm). Todas as amostras apresentaram-se secas e com granulometria inferior a 9,5 mm, não sendo necessário passá-las em almofariz para diminuir a granulometria ou secá-las.

A aparelhagem, vidraria, reagentes e todos os procedimentos utilizados nos processos de lixiviação e solubilização de resíduos sólidos estão descritos a seguir, em conformidade com as normas da ABNT NBR 10004 e 10005 (2004).

**Quadro 1.** Origem dos materiais selecionados das unidades industriais da VALE, para a caracterização físico-química, seus códigos de identificação e suas respectivas procedências.

| Origem dos materiais                                       | Identificação | Procedência   |
|--|---------------|---------------|
| Filtro 3, interligado aos fornos 4, 5 e 6                  | Barb-1        | Barbacena/MG  |
| Filtro 4, interligado ao forno 8                           | Barb-2        | Barbacena/MG  |
| Refino, filtro 5   | Barb-3        | Barbacena/MG  |
| Ciclone, forno R2/R3                                       | OP-4          | Ouro Preto/MG |
| Filtro de manga R2/R3                                      | OP-5          | Ouro Preto/MG |
| Filtro do forno da Planta 1 (saída do silo)                | Salv-6        | Salvador/BA   |
| Pó do conversor (galpão de armazenamento)                  | Salv-7        | Salvador/BA   |
| Filtro do forno da Planta 3 (saída do silo)                | Salv-8        | Salvador/BA   |
| Pó dos filtros (amostra composta dos diferentes filtros)   | Cor-9         | Corumbá/MS    |
| Pó dos ciclones (amostra composta dos diferentes ciclones) | Cor-10        | Corumbá-MS    |



**Figura 1.** a) Filtros de “manga” localizados nas saídas dos fornos; b) Caçamba onde são coletados os resíduos de PD’s; c) Técnicos da VALE e Pesquisador da UFV, no momento da realização da amostragem dos materiais; d) Amostras representativas de PD’s, preparadas para serem enviadas aos laboratórios da UFV.

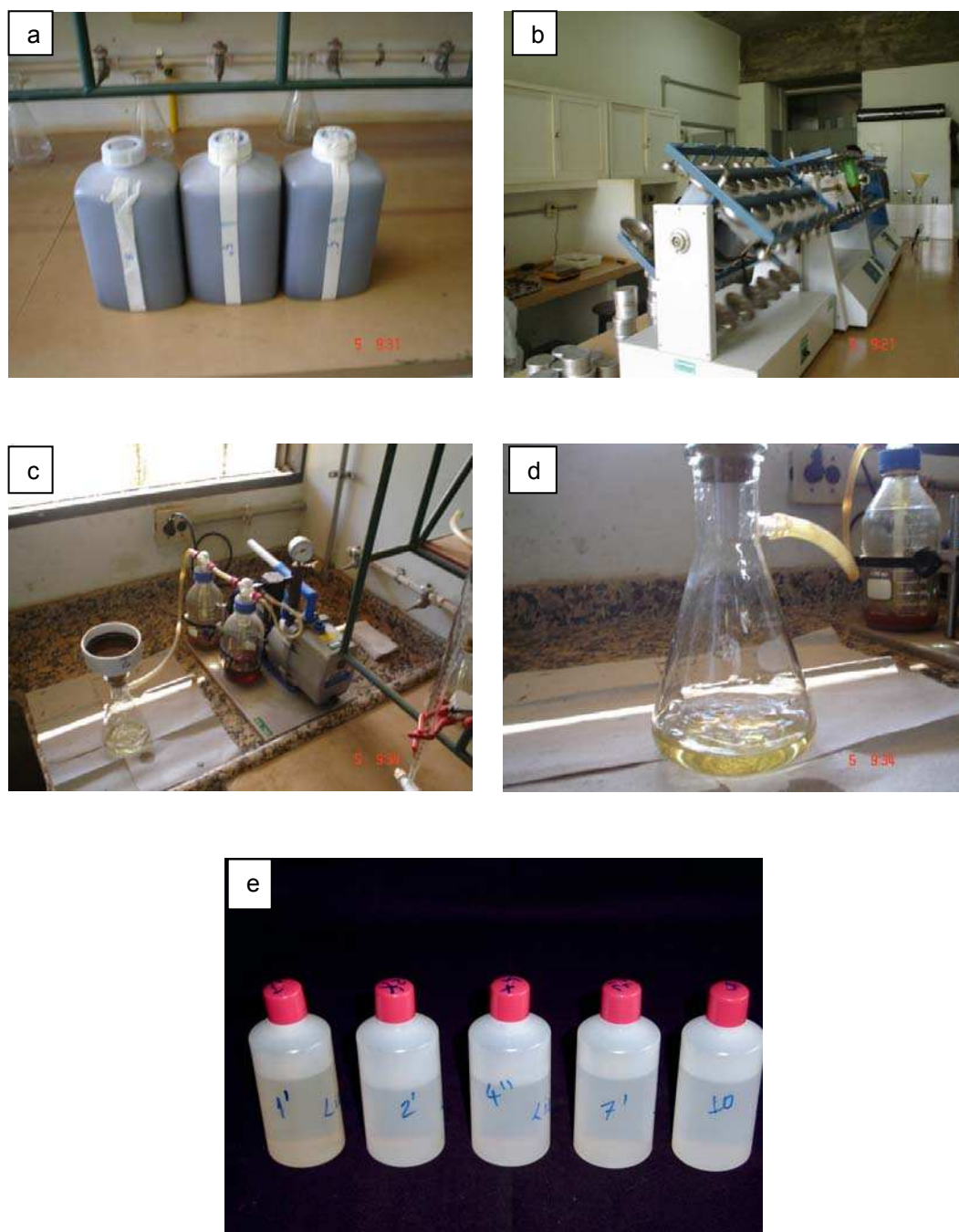
## **2.1. Procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, ABNT NBR 10005 (2004)**

Para a determinação da solução de extração ou extrator, 5,0 g de cada amostra de PD's foram colocadas em um béquer contendo 96,5 mL de água deionizada. As suspensões foram agitadas por 5,0 min em agitador magnético, mantendo-se o béquer coberto com um vidro de relógio. Após a agitação, procedeu-se à leitura do pH de equilíbrio na suspensão.

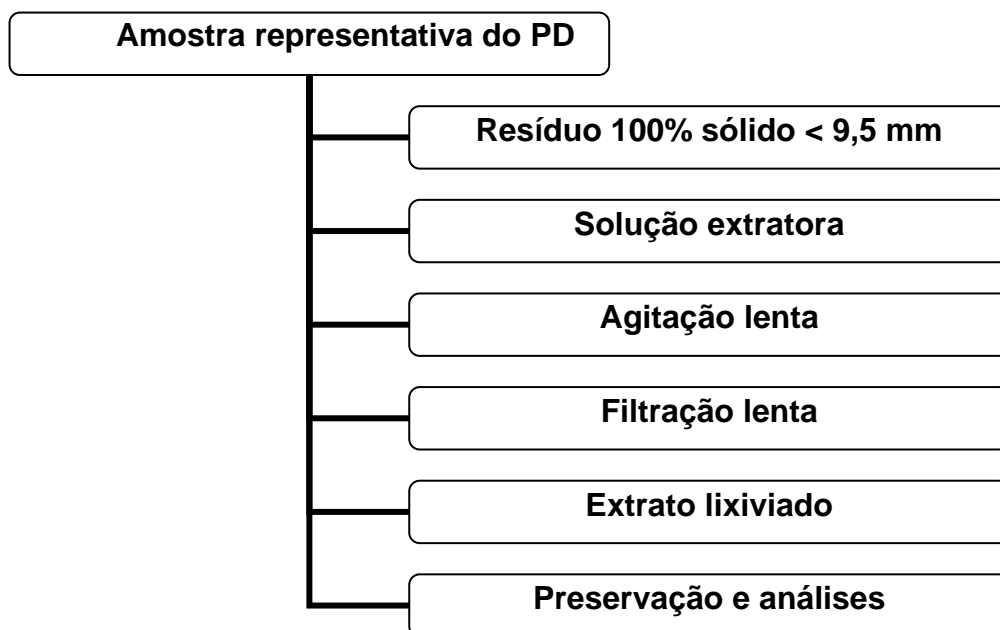
Para as amostras que apresentaram  $\text{pH} \leq 5,0$  foi utilizada a solução de extração 1 (ácido acético glacial + NaOH,  $\text{pH} 4,93 \pm 0,05$ ). As amostras que apresentaram  $\text{pH} > 5,0$  receberam 3,5 mL de HCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$  e foram aquecidas a  $50^\circ\text{C}$  durante 10 min. Após nova avaliação do pH, as amostras que apresentaram  $\text{pH} \leq 5,0$  foram novamente lixiviadas com a solução de extração 1, enquanto que as amostras que apresentaram  $\text{pH} > 5,0$  foram lixiviadas com a solução de extração 2 (ácido acético glacial,  $\text{pH} 2,88 \pm 0,05$ ).

Após a determinação da solução de extração, 75 g de amostras PD's foram transferidas para frascos plásticos com capacidade de 2 L. Utilizou-se uma quantidade de solução de extração, igual a 20 vezes a essa massa utilizada, ou seja, 1,5 L da solução extratora. Os frascos foram fechados, utilizando-se fita de PTFE para evitar vazamento. Em seguida os frascos foram colocados no aparelho giratório vertical (Fig. 2) e mantidos sob agitação durante  $(18 \pm 2)$  h à temperatura de  $25^\circ\text{C}$  com uma rotação de  $(30 \pm 2)$  rpm. Após este período, as amostras foram filtradas em bomba a vácuo acoplado em balão kitassato de 500 mL e funil de Büchner guarnecido com membrana de filtração lenta. O filtrado obtido foi denominado de extrato lixiviado. Alíquotas dos extratos lixiviados foram transferidas para frascos plásticos de 100 mL e armazenados sob refrigeração (a Figura 3, mostra um Fluxograma desse processo). Para a análise dos metais, os extratos lixiviados foram acidificados para valores de pH em torno de 2,0, observando se houve a ocorrência ou não de precipitação. Foi feita a dosagem dos metais por meio da técnica de espectrofotometria em emissão ótica com plasma acoplado induzido (ICP-OES) e espectrofotometria por absorção atômica (AAS).

O procedimento de lixiviação foi realizado em triplicata. Para cada série de amostras foi feita uma prova em branco para verificar se não houve contaminação, utilizando a mesma solução de extração da amostra.



**Figura 2.** a) Frascos plásticos preparados para a agitação (triplicata); b) Agitação lenta em aparelho giratório vertical (18h a 30 rpm); c) Bomba de sucção acoplada em balão de kitassato, durante o processo de filtração; d) Extrato lixiviado; e) Alíquotas retiradas do extrato lixiviado para preservação e análises.



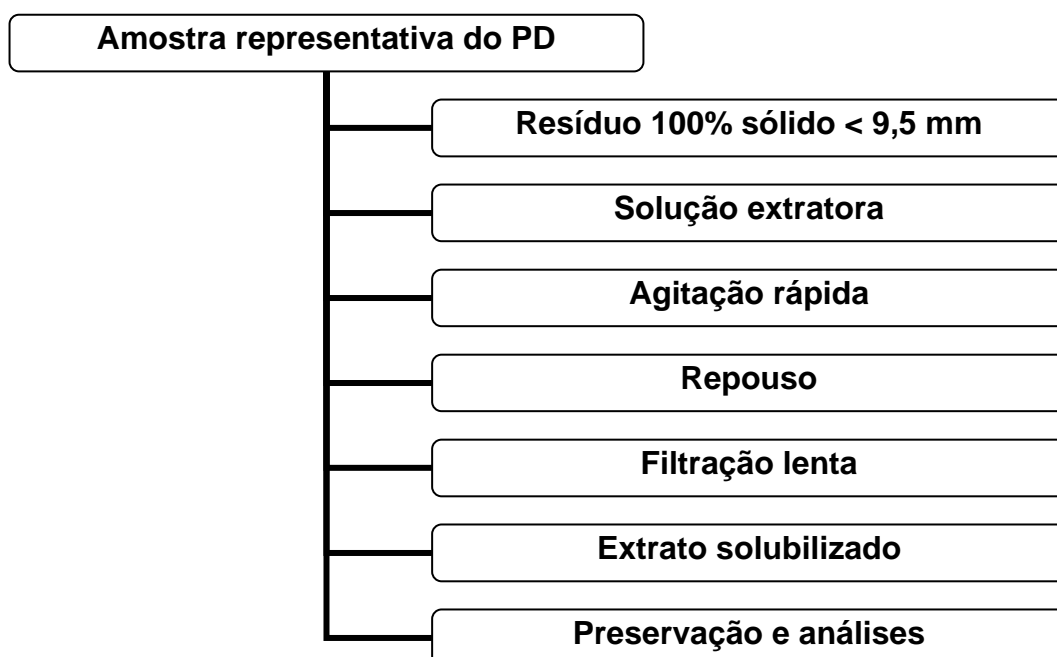
**Figura 3.** Fluxograma descrevendo os procedimentos executados para a lixiviação de resíduos sólidos.

## **2.2. Procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, ABNT NBR 10006 (2004)**

Antes dos procedimentos de solubilização, foi determinada a porcentagem de umidade das amostras, utilizando-se o método padrão de estufa (300 g de amostras a 100°C, por 24 h). Após secagem, foram pesadas 250 g de cada amostra adicionando-se 1000 mL de água deionizada em frascos de PVC com capacidade de 2000 mL. Os frascos foram agitados submetidos a agitação horizontal, durante 5 min em baixa velocidade. Após a agitação os frascos foram cobertos com filme de PVC e deixados em repouso por sete dias, em temperatura ambiente (a Figura 4, mostra um Fluxograma desse processo).

Após o repouso, as amostras foram filtradas em aparelho a vácuo acoplado em balão kitassato de 500 mL e funil de Büchner guarnecido com membrana de filtração lenta. O filtrado obtido foi denominado de extrato solubilizado. O pH foi determinado e em seguida, foram retiradas alíquotas de 100 mL para preservação e análises. Para cada série de amostras foi feita uma prova em branco para verificar se não houve contaminação, utilizando apenas água deionizada. Todo o procedimento de solubilização foi feito em duplicata.

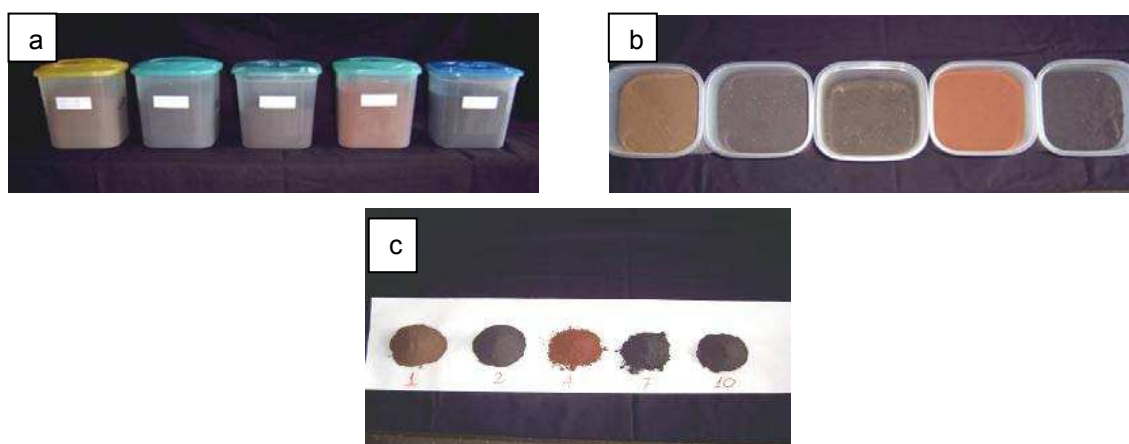
Os extratos solubilizados foram transferidos para frascos de vidro de 100 mL e armazenados em refrigerador a  $4 \pm 2$  °C, até o momento da dosagem. Os metais foram analisados por meio de espectrofotometria de emissão ótica com plasma acoplado induzido (ICP-OES) e espectrofotometria de absorção atômica (AAS). Para essa análise dos metais, os extratos solubilizados foram acidificados para valores de pH em torno de 2,0, observando se houve a ocorrência ou não de precipitação.



**Figura 4.** Fluxograma descrevendo os procedimentos executados para a solubilização de resíduos sólidos.

### 2.3. Análise dos teores totais de metais

Para a caracterização dos teores totais de metais foram selecionadas cinco amostras dentre as dez amostras coletadas (Fig. 5). Essas amostras foram selecionadas levando-se em consideração as diferentes regiões de origens dos minérios de Mn (geologia dos materiais). Em seguida, foram transferidas 0,25 g de PD em cadinhos de teflon e submetidas à digestão por meio de água régia (ácido nítrico e clorídrico, 1:3). Os teores de metais foram dosados por meio da técnica de espectrofotometria de emissão ótica com plasma acoplado induzido (ICP-OES).



**Figura 5.** a) Amostras dos cinco PD's selecionadas para análise dos teores totais de metais pesados; b e c) Diferenças de coloração evidenciando algumas de suas características físicas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todas as amostras, o pH obtido após a agitação com água foi superior a 5,0 sendo que apenas para as amostras Barb-2, OP-4 e Salv-7 obteve-se um valor de pH inferior a 5,0 após a adição de 3,5 mL de HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> (pH<sub>2</sub>). Portanto, apenas as amostras Barb-2, OP-4 e Salv-7 foram lixiviadas com a aplicação da solução de extração 2, sendo utilizada a solução de extração 1 para as demais (Quadro 2).

**Quadro 2.** Valores médios de pH obtidos após a agitação com água (pH<sub>1</sub>) e após a adição de HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> (pH<sub>2</sub>). Procedimento de seleção da solução extratora (média de três repetições).

| Amostras | pH <sub>1</sub> | pH <sub>2</sub> |
|----------|-----------------|-----------------|
| Barb-1   | 11,2            | 9,0             |
| Barb-2   | 10,8            | 3,2             |
| Barb-3   | 12,6            | 12,0            |
| OP-4     | 10,2            | 3,8             |
| OP-5     | 10,6            | 9,1             |
| Salv-6   | 10,9            | 9,6             |
| Salv-7   | 10,9            | 2,1             |
| Salv-8   | 10,8            | 9,7             |
| Cor-9    | 10,6            | 10,0            |
| Cor-10   | 12,1            | 9,0             |

Após o procedimento de lixiviação, as soluções lixiviadas apresentaram diferentes valores de pH (Quadro 3). O menor valor (5,18) foi observado para a amostra Salv-7, proveniente do pó do conversor da unidade de Salvador/Ba. Esse resultado mostrou a reação ácida do material, conforme observado após os procedimentos preliminares. Para as demais amostras (Barb-2 e OP-4) que haviam apresentado reação ácida durante os procedimentos de seleção de extratores, esse comportamento não foi confirmado com a lixiviação. Para as

demais soluções os valores de pH foram superiores a 7,0, indicando, portanto, possuírem caráter básico.

**Quadro 3.** Valores de pH das soluções lixiviadas das dez amostras de PD's coletadas nas unidades industriais da VALE. (média de três repetições).

| <b>Amostras</b> | <b>pH</b> |
|-----------------|-----------|
| Barb-1          | 7,7       |
| Barb-2          | 7,5       |
| Barb-3          | 12,6      |
| OP-4            | 8,0       |
| OP-5            | 8,2       |
| Salv-6          | 8,4       |
| Salv-7          | 5,2       |
| Salv-8          | 9,0       |
| Cor-9           | 9,9       |
| Cor-10          | 7,2       |

Os teores de metais das soluções lixiviadas de cinco amostras de PD's, encontram-se no Quadro 4. Nenhuma das amostras apresentou valores de metais acima do limites máximos estabelecidos (LME) pela ABNT NBR 10004 (2004). Os teores de Ca no extrato lixiviado, assim como os de Mn, são aparentemente elevados para todos os materiais. Não cabe, no entanto, a interpretação dos valores de Ca e Mn, já que não há um valor de referência ou um LME na ABNT para estes elementos. Isto se deve ao fato destes dois elementos serem essenciais aos organismos vivos.

**Quadro 4.** Teores médios de metais observados nos extratos lixiviados em cinco amostras de PD's e seus limites máximos estabelecidos (LME), conforme o anexo F, da ABNT NBR 10004 (2004).

| ELEMENTO                       | BARB-1                | BARB-2    | OP-4      | SALV-7    | COR-10    | LME              |
|--------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
| ----- mg L <sup>-1</sup> ----- |                       |           |           |           |           |                  |
| As                             | 0,012 b <sup>1/</sup> | 0,027 a   | 0,012 b   | 0,029 a   | 0,015 ab  | 1,0              |
| Pb                             | 0,079 a               | 0,036 a   | 0,025 a   | 0,062 a   | 0,036 a   | 1,0              |
| Cr                             | 0,137 b               | 0,000 b   | 0,000 b   | 0,000 b   | 0,967 a   | 5,0              |
| Ni                             | 0,035 d               | 0,0130 a  | 0,074 b   | 0,053 c   | 0,007 e   | ne <sup>2/</sup> |
| Cd                             | 0,012 b               | 0,010 b   | 0,020 a   | 0,013 b   | 0,003 c   | 0,5              |
| Se                             | 0,278 a               | 0,144 b   | 0,127 b   | 0,090 c   | 0,076 c   | 1,0              |
| Ba                             | 0,019 cd              | 0,101 b   | 0,041 c   | 0,013 d   | 0,734 a   | 70,0             |
| V                              | 0,150 a               | 0,103 b   | 0,092 c   | 0,032 e   | 0,076 d   | ne               |
| Ti                             | 0,003 b               | 0,002 b   | 0,002 b   | 0,002 b   | 0,005 a   | ne               |
| Al                             | 0,166 b               | 0,275 a   | 0,142 bc  | 0,328 a   | 0,043 c   | ne               |
| Mn                             | 72,443 d              | 142,950 a | 121,092 b | 96,358 c  | 92,967 c  | ne               |
| Ca                             | 484,900 c             | 402,100 d | 558,967 b | 327,500 e | 925,167 a | ne               |
| Cu                             | 0,014 b               | 0,008 cd  | 0,007 d   | 0,062 a   | 0,012 bc  | ne               |
| Fe                             | 0,092 a               | 0,032 b   | 0,010 b   | 0,118 a   | 0,006 b   | ne               |
| Zn                             | 0,332 b               | 0,091 c   | 0,700 a   | 0,246 b   | 0,031 c   | ne               |
| ----- µg L <sup>-1</sup> ----- |                       |           |           |           |           |                  |
| Hg                             | 0,975 a               | 0,884 bc  | 0,912 ab  | 0,970 ab  | 0,806 c   | 100,0            |

<sup>1/</sup>Para cada elemento, as médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan;

<sup>2/</sup>Valor não especificado pela ABNT NBR 10004 (2004);

O Anexo B, da ABNT NBR 10004 (2004) referente aos resíduos classe I – perigosos, provenientes de fontes específicas, apresenta como constituintes perigosos para lodos ou poeiras provenientes do sistema de controle de emissão de gases empregados na produção de ferro-manganês (Código de identificação K 092), os elementos Cr e Pb, cujos limites máximos são de 0,005 e 0,01 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. A classificação do PD como material tóxico, não foi confirmada pelos resultados no procedimento de lixiviação, uma vez que todos os elementos analisados ficaram abaixo dos limites máximos estabelecidos pela ABNT (Anexo F, ABNT NBR 10004, 2004) para as amostras avaliadas (Quadro 4).

Contrariamente ao observado para os extratos lixiviados, a maioria das amostras dos extratos solubilizados apresentou concentração de metais acima do limite máximo estabelecido pela ABNT (Anexo G, ABNT NBR 10004, 2004). Para todas as amostras dos extratos solubilizados, os teores de As e Se apresentaram-se acima do limite máximo de 0,01 mg L<sup>-1</sup> (Quadro 5). Com relação aos demais metais analisados, alguns extratos apresentaram concentrações acima do LME na ABNT para os elementos Hg, Pb, Mn, Fe e Al. Dentre eles, Hg e Pb são os mais preocupantes, uma vez que Fe, Al e Mn são constituintes estruturais dos solos em concentrações relativamente altas, podendo se apresentar com altas atividades na solução do solo, dependendo das condições de pH e potencial redox.

**Quadro 5.** Teores médios de metais observados nos extratos solubilizados em cinco amostras de PD's e seus limites máximos estabelecidos (LME), conforme o anexo G, da ABNT NBR 10004 (2004).

| ELEMENTO                       | BARB-1                 | BARB-2   | OP-4    | SALV-7   | COR-10   | LME              |
|--------------------------------|------------------------|----------|---------|----------|----------|------------------|
| ----- mg L <sup>-1</sup> ----- |                        |          |         |          |          |                  |
| As                             | 11,401 a <sup>1/</sup> | 0,4581 b | 0,270 b | 0,103 b  | 0,072 b  | 0,01             |
| Pb                             | 0,015 b                | 0,013 b  | 0,370 a | 0,076 b  | 0,014 b  | 0,01             |
| Cr                             | 0,961 a                | 0,000 e  | 0,270 b | 0,103 c  | 0,072 d  | 0,005            |
| Ni                             | 0,000 c                | 0,072 b  | 0,000 c | 0,000 c  | 0,019 a  | 0,70             |
| Se                             | 1,261a                 | 0,196 b  | 0,043 c | 0,036 c  | 0,237 b  | 0,01             |
| Ba                             | 0,003 bc               | 0,000 c  | 0,006 b | 0,000 c  | 0,029 a  | 0,70             |
| V                              | 1,974 a                | 1,953 a  | 0,970 b | 0,500 c  | 0,950 b  | ne <sup>2/</sup> |
| Al                             | 0,130 d                | 0,295 c  | 0,233 c | 1,989 b  | 30,732 a | 0,20             |
| Mn                             | 0,000 d                | 0,000 d  | 0,270 a | 0,103 b  | 0,716 c  | 0,10             |
| Ca                             | 4,543 d                | 9,630 c  | 0,490 e | 11,678 b | 15,135 a | ne               |
| Cu                             | 0,017 b                | 0,002 d  | 0,012 c | 0,003 d  | 0,280 a  | 2,00             |
| Fe                             | 0,072 c                | 0,002 d  | 0,110 b | 0,006 d  | 0,331 a  | 0,30             |
| Zn                             | 0,007 b                | 0,012 b  | 0,043 a | 0,020 b  | 0,017 b  | 0,10             |
|                                |                        |          |         |          |          | ne               |
| ----- µg L <sup>-1</sup> ----- |                        |          |         |          |          |                  |
| Hg                             | 0,553 b                | 0,227 b  | 0,587 b | 1,322 a  | 0,826 ab | 1,00             |

<sup>1/</sup>Para cada elemento, as médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan;

<sup>2/</sup>Valor não especificado pela ABNT NBR 10004 (2004);

Após o procedimento de solubilização, os extratos foram avaliados quanto aos valores de pH. Para todos os extratos o pH de equilíbrio, após o processo de solubilização, foi superior a 10, evidenciando que os materiais apresentaram reação alcalina. O valor de pH mais elevado (13,3) foi observado para o extrato da amostra Barb-3 e o menor valor (10,3) para a amostra Cor-9 (Quadro 6).

**Quadro 6.** Valores de pH dos extratos de solubilização das dez amostras de PD's coletadas nas unidades industriais da VALE. (média de três repetições).

| <b>Amostras</b> | <b>pH</b> |
|-----------------|-----------|
| Barb-1          | 11,8      |
| Barb-2          | 11,7      |
| Barb-3          | 13,3      |
| OP-4            | 10,6      |
| OP-5            | 10,8      |
| Salv-6          | 10,7      |
| Salv-7          | 11,9      |
| Salv-8          | 11,1      |
| Cor-9           | 10,3      |
| Cor-10          | 12,8      |

Os resultados obtidos no procedimento de solubilização refletem a variabilidade existente nos materiais em função da composição mineral e ou, das características dos processos a que são submetidos. Como pode existir variabilidade em função do minério de Mn utilizado no processo de obtenção das ligas de manganês, os resultados obtidos não podem ser generalizados.

Os teores totais de Mn variaram de 17,49 a 32,50 dag kg<sup>-1</sup>, em cinco amostras de PD's analisadas na digestão por meio de água régia (Quadro 7). Com relação aos metais pesados, apenas os teores de Pb e Se poderiam ser destacados como mais preocupantes devido aos elevados teores. Observa-se

que para fins de fonte de produção de micronutrientes, alguns materiais apresentaram teores de Zn acima de 2 000 mg kg<sup>-1</sup> (Barb-1 e OP-4), o que agrega valor aos PD's, pelo fato do Zn ser também um elemento essencial ao desenvolvimento das plantas.

**Quadro 7.** Teores médios de metais obtidos com a extração por água régia de cinco amostras de PD's coletadas nas unidades industriais da VALE. (média de três repetições).

| ELEMENTO                       | BARB-1       | BARB-2       | OP-4          | SALV-7       | COR-10       |
|--------------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| ----- mg L <sup>-1</sup> ----- |              |              |               |              |              |
| As                             | 152,477 a    | 97,877 b     | 69,105 c      | 72,200 c     | 33,031 d     |
| Pb                             | 756,630 b    | 104,702 d    | 453,890 c     | 1557,423 a   | 43,036 e     |
| Cr                             | 103,506 c    | 117,965 bc   | 128,233 b     | 245,936 a    | 68,610, d    |
| Ni                             | 152,226 c    | 347,830 a    | 304,784 b     | 146,927 c    | 42,567 d     |
| Cd                             | 150,734 a    | 28,532 c     | 45,406 b      | 9,438 d      | 12,567 d     |
| Se                             | 3 682,547 b  | 3 174,000 c  | 3 937,310 b   | 10 063,310 a | 2 230,131 d  |
| Ba                             | 331,723 c    | 1465,550 a   | 763,945 b     | 12,864 d     | 365,246 c    |
| V                              | 54,922 c     | 196,048 a    | 158,056 b     | 58,310 c     | 36,087 d     |
| Ti                             | 276,744 c    | 1172,535 a   | 1173,903 a    | 44,332 d     | 871,193 b    |
| Al                             | 12 690,240 b | 19 406,250 a | 21 415,600 a  | 1 278,588 c  | 14 422,960 b |
| Mn                             | 27,262 b     | 21,491 c     | 26,971 b      | 30,167 a     | 17,489 c     |
| Ca                             | 20 078,410 c | 23 058,030 b | 21 524,820 bc | 6 843,933 d  | 36 353,040 a |
| Cu                             | 226.948 a    | 153,549 b    | 256,794 a     | 185,249 b    | 12,885 c     |
| Fe                             | 13 192,150 c | 42 534,920 a | 40 526,240 a  | 7 960,367 d  | 35 173,750 b |
| Zn                             | 2 515,092 a  | 538,416 d    | 2 071,757 b   | 864,577 c    | 215,494 e    |
| ----- µg L <sup>-1</sup> ----- |              |              |               |              |              |
| Hg                             | 80,533 a     | 42,267 b     | 48,100 ab     | 50,367 ab    | 46,800 b     |

<sup>1/</sup>Para cada elemento, as médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

## **ENQUADRAMENTO DO PÓ DE DESPOEIRAMENTO DE SEGUNDO A RESOLUÇÃO Nº. 26, DE 30/03/1998, DA CETESB**

A Resolução nº. 26, de 30/03/1998, da CETESB aprova os procedimentos de controle e fiscalização sobre a utilização de resíduos na formulação de fertilizantes de micronutrientes, conforme justificado e especificado no anexo I da mesma resolução.

A partir de um estudo realizado por técnicos da CETESB procurou-se: avaliar a viabilidade, em termos ambientais, de se utilizar, como uma das matérias-primas na indústria de fabricação/formulação de fertilizantes de micronutrientes, o pó coletado nos sistemas de controle de poluição do ar de fornos elétricos a arco de aciarias; estabelecer os procedimentos de fiscalização/controle a serem implementados para a efetiva destinação do pó coletado nos sistemas de controle de poluição de ar; elaborar um procedimento padrão de referência para o desenvolvimento de outros estudos que visem o aproveitamento de alguns elementos específicos, essenciais à agricultura, contidos em pós de fundição em geral, coletados nos sistemas de controle de poluição de ar de outras fontes de emissão.

A resolução da CETESB nº. 26 se refere especificamente a materiais oriundos de filtros de fornos elétricos, a arco, de aciarias e relaciona de maneira genérica sua pertinência a pós de fundição em geral. Dessa forma, há a possibilidade de uma reciprocidade quanto ao Pó de Despoeiramento (PD), podendo ser utilizada como normas, desde que sejam feitas as adequações quanto aos limites de composição química elementar dos PD's e dos fertilizantes que utilizarão esse material em sua composição.

De acordo com o Anexo I da Resolução CETESB nº. 26, a composição química elementar do material que gerou a resolução foi estabelecida por meio das informações fornecidas pelos geradores do material e pelas próprias indústrias de fertilizantes.

A partir da análise dos teores totais de metais das cinco amostras de PD's das unidades industriais da VALE, estabeleceu-se o Quadro 8, referente aos limites de composição química elementar dos PD's in natura.

**Quadro 8.** Limites de composição química elementar das cinco amostras de PD's selecionadas das unidades industriais da Companhia Vale.

| Elemento | Teor <sup>1/</sup> | Observação                           |
|----------|--------------------|--------------------------------------|
|          | %                  |                                      |
| Zn       | 0,25               | Teor máximo <sup>2/</sup>            |
| As       | 0,02               | Teor máximo                          |
| Cd       | 0,02               | Teor máximo                          |
| Pb       | 0,16               | Teor máximo                          |
| Cu       | 0,03               | Teor máximo                          |
| Cr       | 0,02               | Teor máximo                          |
| Hg       | 0,03               | Teor máximo                          |
| Ni       | 0,03               | Teor máximo                          |
| Se       | 1,01               | Teor máximo                          |
| Al       | 2,14               | Teor máximo                          |
| Fe       | 4,25               | Teor máximo                          |
| V        | 0,02               | Teor máximo                          |
| Ti       | 0,12               | Teor máximo                          |
| Ca       | 3,64               | Teor máximo                          |
| Mg       | 1,39               | Teor máximo                          |
| Mn       | 17,49              | Teor mínimo do elemento de interesse |
| Mn       | 32,50              | Teor máximo do elemento de interesse |

<sup>1/</sup>Teor expresso em termos do elemento químico em peso na base seca;

<sup>2/</sup>Valores máximos obtidos em conformidade com os teores do Quadro 7.

A composição química elementar dos fertilizantes fornecedores de Mn, que utilizam os PD's das unidades industriais da VALE, foi estabelecida a partir das informações fornecidas pela empresa Multitécnica Industrial, Ltda. A Empresa forneceu amostras e informações de dois produtos (óxido de

manganês - MnO e sulfato de manganês mono hidratado - MnSO<sub>4</sub> H<sub>2</sub>O), MULTIMAN 6098 e MULTIMAN 31, respectivamente, comercializados como fertilizantes e matérias-primas para rações e outros fertilizantes. A partir dos dados fornecidos pela Multitécnica geraram a tabela de limites da composição química elementar dos produtos fornecedores de Mn (Quadro 9).

**Quadro 9.** Limites de composição química elementar dos fertilizantes fornecedores de Mn.

| Elemento | MnO                              | MnSO <sub>4</sub> | Observação                           |
|----------|----------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
|          | ----- mg kg <sup>-1</sup> -----  |                   |                                      |
| As       | 20,0                             | 5,0               | Teor máximo                          |
| Cd       | 10,0                             | 5,0               | Teor máximo                          |
| Pb       | 200,0                            | 30,0              | Teor máximo                          |
| Hg       | 0,10                             | 0,10              | Teor máximo                          |
| Fe       | 4,0                              | 20,0              | Teor máximo                          |
|          | ----- dag kg <sup>-1</sup> ----- |                   |                                      |
| Mn       | 60,0                             | 31,0              | Teor mínimo do elemento de interesse |
| S        | -                                | 21,0              | Teor mínimo do elemento de interesse |

Os dados fornecidos pela Multitécnica revelam que os fertilizantes produzidos a partir dos PD's apresentaram teores de metais inferiores aos observados para os fertilizantes fornecedores de Zn produzidos com o pó proveniente de fornos elétricos a arco de aciarias (Anexo I – Utilização de resíduos na formulação de fertilizantes de micronutrientes, Resolução nº. 26, de 30/03/1998, da CETESB).

A partir da taxa máxima de aplicação acumulada de metais pesados admissível em solos agricultáveis apresentada no “Standards for use or disposal of sewage sludge – USEPA” (Quadro 10) foi possível calcular o período necessário para que um solo seja considerado inadequado em termos agricultáveis/ambientais com o uso dos fertilizantes de Mn preparados com os PD's (Quadro 11). Para esse cálculo utilizou-se a dose de  $5,0 \text{ kg ha}^{-1} \times \text{ano}$  de Mn, que representa um valor elevado em relação ao normalmente aplicado em cultivos agrícolas.

Este cálculo assume que não existirão perdas ou absorção de metais pelas plantas e que a dinâmica (adsorção e dessorção) desses em diferentes solos é igual. Ou seja, a possibilidade de lixiviação de metais é a mesma entre solos, independentemente de sua capacidade de troca de cátions (CTC). De qualquer maneira, observa-se que o período necessário para se atingir os valores estabelecidos é extremamente longo.

Portanto, tomando-se os dados fornecidos pela Multitécnica Industrial Ltda, fornecedora dos fertilizantes preparados a partir dos PD's verifica-se a viabilidade de seu uso como matéria-prima para o preparo de fertilizantes.

**Quadro 10.** Taxa máxima de aplicação acumulada<sup>1/</sup> de metais pesados admissível para solos agricultáveis<sup>2/</sup>.

| As                              | Cd | Pb  | Cu    | Cr    | Hg | Ni  | Se  | Zn    |
|---------------------------------|----|-----|-------|-------|----|-----|-----|-------|
| ----- kg ha <sup>-1</sup> ----- |    |     |       |       |    |     |     |       |
| 41                              | 39 | 300 | 1 500 | 3 000 | 17 | 420 | 100 | 2 800 |

<sup>1/</sup>Taxa expressa em termos do elemento químico na base seca;

<sup>2/</sup>Standards for use or disposal of sewage sludge – USEPA, 2003.

**Quadro 11.** Período necessário para que um solo seja considerado inadequado em termos agrícolas/ambientais em função da aplicação de fertilizantes produzidos a partir PD's.

| Elemento | Fertilizante          |                                    |
|----------|-----------------------|------------------------------------|
|          | MnO                   | MnSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O |
|          | ----- anos -----      |                                    |
| As       | 246 987 <sup>1/</sup> | 516 698                            |
| Cd       | 468 187               | 491 493                            |
| Pb       | 180 072               | 630 019                            |
| Hg       | 20 408 163            | 10 712 035                         |

<sup>1/</sup>5 kg de Mn/ano → 8,3333 kg de MnO → 0,0001666 kg de As ↔ 41 kg de As ÷ 0,0001666 = 246 987 anos.

De maneira a se ter também as limitações quanto aos demais elementos, por ventura contida nas matérias-primas e nos fertilizantes, calcularam-se os limites para As, Cd, Pb e Hg, baseando-se nas seguintes premissas:

#### A) Para os fertilizantes produzidos a partir dos PD's

- Os limites máximos admissíveis de metais pesados em solos agrícolas (taxa máxima de aplicação acumulada, conforme Quadro 10);
- A dosagem máxima de 5,0 kg ha<sup>-1</sup> × ano para a aplicação de Mn ao solo e;
- O período máximo de 1 000 anos para a aplicação do fertilizante que contenha em sua composição os seguintes elementos químicos: As, Hg, Se, Cd e Pb, de forma que o solo onde estiver sendo incorporado este fertilizante fornecedor de Mn torne-se inadequado em termos agrícolas/ambientais.

Desta maneira, o quadro 12 apresenta os limites de composição química elementar dos fertilizantes produzidos a partir dos PD's.

**Quadro 12.** Limites de composição química elementar dos fertilizantes produzidos a partir dos PD's.

| Elemento | MnO                | Observação  |
|----------|--------------------|-------------|
|          | %                  |             |
| As       | 0,49 <sup>1/</sup> | Teor máximo |
| Hg       | 0,21               | Teor máximo |
| Se       | 1,21               | Teor máximo |
| Cd       | 0,47               | Teor máximo |
| Pb       | 3,62               | Teor máximo |
| Cu       | 18,07              | Teor máximo |

<sup>1/</sup>246.987 anos ÷ 1000 = 246,987 × 0,002 dag kg<sup>-1</sup> de As = 0,49 % de As.

### **B) Para os PD's in natura (PD)**

O Quadro 12 apresenta os limites de composição química elementar dos PD's utilizados como matéria-prima fornecedora de Mn para o preparo de fertilizantes. O Quadro 12 apresenta também os limites acrescidos de um fator de multiplicação referente à concentração de Mn existente no PD. Se algum procedimento ou método for utilizado para aumentar a concentração de Mn do PD, esse beneficiamento resultará, também, no aumento da concentração dos metais existentes no resíduo.

**Quadro 12.** Limites de composição química elementar de cinco amostras de PD's selecionadas nas unidades industriais da "VALE" utilizados como matéria-prima fornecedora de Mn.

| Elemento | Teor <sup>1/</sup>        | Observação  |
|----------|---------------------------|-------------|
|          | %                         |             |
| Zn       | 0,25 (% Mn) <sup>2/</sup> | Teor máximo |
| As       | 0,02 (% Mn)               | Teor máximo |
| Cd       | 0,02 (% Mn)               | Teor máximo |
| Pb       | 0,16 (% Mn)               | Teor máximo |
| Cu       | 0,03 (% Mn)               | Teor máximo |
| Cr       | 0,02 (% Mn)               | Teor máximo |
| Hg       | 0,03 (% Mn)               | Teor máximo |
| Ni       | 0,03 (% Mn)               | Teor máximo |
| Se       | 1,01 (% Mn)               | Teor máximo |
| Al       | 2,14 (% Mn)               | Teor máximo |
| Fe       | 4,25 (% Mn)               | Teor máximo |
| V        | 0,02 (% Mn)               | Teor máximo |
| Ti       | 0,12 (% Mn)               | Teor máximo |
| Ca       | 3,64 (% Mn)               | Teor máximo |
| Mg       | 1,39 (% Mn)               | Teor máximo |

<sup>1/</sup>Porcentagem expressa em termos do elemento químico na base seca;

<sup>2/</sup>% (Mn), a porcentagem de Mn no PD, expressa em termos do elemento químico na base seca.

## 4. CONCLUSÕES

1. Por definição, quanto às características de periculosidade, o PD foi considerado como resíduo tóxico (código K 092) tendo como principais constituintes tóxicos, o cromo e o chumbo (Anexo B, ABNT NBR 10004 de 2004);
2. Os teores dos elementos encontrados no procedimento de lixiviação de resíduos sólidos não resultaram em valores excedentes aos limites máximos estabelecidos pela ABNT (Anexo F, ABNT NBR, 2004). Por outro lado, os teores de As, Pb, Se, Hg, Mn, Fe e Al obtidos no procedimento de solubilização, resultaram em valores acima dos limites máximos estabelecidos pela referida norma (Anexo G, ABNT NBR 10004, 2004);
3. Existe reciprocidade da Resolução nº. 26, de 30/03/1998, da CETESB em relação aos PD's, indicando que essa norma pode ser utilizada como referência. A determinação dos valores relativos aos limites de composição química elementar dos PD's in natura, e dos fertilizantes preparados a partir dos PD's, demonstra a viabilidade do uso de PD's como fonte de matéria-prima de Mn para a fabricação dos fertilizantes.
4. Os resultados obtidos nos procedimentos de lixiviação e solubilização de resíduos sólidos refletem a variabilidade existente nos materiais em função da composição química dos minérios de Mn e das características dos processos a que são submetidos. Em função da variabilidade do minério de Mn utilizado nos processos de metalurgia das ligas de Mn, os resultados obtidos não podem ser generalizados;

## CAPÍTULO II

# MANGANÊS DISPONÍVEL EM MEHLICH-3 E CLORETO DE CÁLCIO EM AMOSTRAS DE SOLOS INCUBADAS COM PÓ DE DESPOEIRAMENTO

### 1. INTRODUÇÃO

Os processos químicos mais importantes que influenciam o comportamento de Zn, Cu e Mn no solo e suas disponibilidades para as plantas são os que se relacionam com suas adsorções no solo. Esses processos controlam a concentração dos íons e dos complexos metálicos na solução do solo e, conseqüentemente, influenciam a absorção dos mesmos pelas raízes. Diversos mecanismos podem estar envolvidos na adsorção dos metais, incluindo troca catiônica, adsorção específica, complexação orgânica e precipitação (Alloway, 1990).

Atualmente, diversos extratores químicos têm sido utilizados na avaliação da disponibilidade de micronutrientes para as plantas, dentre eles, podem-se citar ácidos diluídos (Haq & Miller, 1972; Silvieira & Sommers, 1977; Abreu et al., 1995) e agentes quelantes, tais como o DTPA e o EDTA (Shuman & Anderson, 1974; Lindsay & Norvell, 1978; Lantmann & Meurer, 1982; Haynes & Swift, 1983).

Os extratores ácidos mais usados comumente são: (Mehlich-1 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,00125 mol  $\text{L}^{-1}$ ), HCl 0,1 mol  $\text{L}^{-1}$  (Sims & Johnson, 1991) e Mehlich-3 (HOAc 0,2 mol  $\text{L}^{-1}$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  0,25 mol  $\text{L}^{-1}$ ,  $\text{NH}_4\text{F}$  0,015 mol  $\text{L}^{-1}$ ,  $\text{HNO}_3$  0,013 mol  $\text{L}^{-1}$  e EDTA 0,001 mol  $\text{L}^{-1}$ ). O extrator Mehlich-3 (Mehlich, 1984), o qual incorpora EDTA à sua constituição, tem despertado interesse desde seu desenvolvimento, porque permite a extração simultânea de vários elementos determinados em laboratórios de rotina (P, K, Ca, Mg, Mn, Cu e Zn).

O presente estudo, teve como objetivo avaliar os teores de Mn disponível utilizando os extratores Mehlich-3 e  $\text{CaCl}_2$  nos tratamentos que levaram doses crescentes de PD's, em dois solos (argiloso e arenoso) e em duas épocas diferentes.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para os tratamentos foram escolhidos cinco PD's que apresentaram diferentes características físicas e químicas, baseadas no capítulo anterior, incluindo-se um fertilizante comercial (testemunha) e dois fertilizantes produzidos com o PD (Quadro 1).

**Quadro 1.** Teores de Mn nas cinco amostras de PD's in natura coletadas nas unidades industriais da VALE, o sulfato de Mn comercial (testemunha) e dois materiais produzidos a partir dos PD's, utilizados na etapa de extração de Mn disponível em Mehlich-3 e  $\text{CaCl}_2$ .

| MATERIAL                                | IDENTIFICAÇÃO | Mn<br>(dag kg <sup>-1</sup> ) |
|---|---------------|-------------------------------|
| 1. Filtro 3, ligas (Barbacena/MG)       | Barb-1        | 27,26                         |
| 2. Ciclone, forno 8 (Barbcena/MG)       | Barb-2        | 21,49                         |
| 3. Ciclone 3, ligas (Ouro Preto/MG)     | OP-4          | 26,97                         |
| 4. Conversor (Salvador/BA)              | Salv-7        | 30,60                         |
| 5. Ciclone, Urucum (Corumbá/MS)         | Cor-10        | 17,49                         |
| 6. Sulfato de Mn comercial (testemunha) | SM-Com        | 32,50                         |
| 7. Sulfato de Mn (produzido com PD)     | SM-PD         | 31,00                         |
| 8. Óxido de Mn (produzido com PD)       | OM-PD         | 60,00                         |

Amostras superficiais (0-20 cm de profundidade) de dois Latossolos Vermelho Amarelos, um argiloso e outro arenoso, foram coletadas nos municípios de Viçosa/MG (TG) e Três Marias/MG (TM), respectivamente. As amostras foram secas ao ar e passadas em peneiras com malhas de 4,0 mm. Foram retiradas subamostras de 500 g de cada solo e submetidas à caracterização físico-química (Quadro 2).

**Quadro 2.** Composição química e física das amostras de solos utilizadas na pesquisa.

| <b>Resultado analítico</b>   | <b>TG<sup>1/</sup></b> | <b>TM<sup>2/</sup></b> |
|--|------------------------|------------------------|
| pH (H <sub>2</sub> O)  | 4,80                   | 4,74                   |
| MO (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>3/</sup>                             | 2,96                   | 1,20                   |
| P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>4/</sup>                               | 0,80                   | 0,20                   |
| K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>4/</sup>                               | 24,0                   | 28,0                   |
| Zn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>4/</sup>                              | 0,39                   | 29,7                   |
| Fe (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>4/</sup>                              | 44,1                   | 42,0                   |
| Mn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>4/</sup>                              | 3,60                   | 3,90                   |
| Cu (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>4/</sup>                              | 0,24                   | 0,00                   |
| Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>5/</sup> | 0,08                   | 0,02                   |
| Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>5/</sup> | 0,00                   | 0,00                   |
| Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>5/</sup> | 0,20                   | 0,10                   |
| H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>6/</sup>           | 6,90                   | 2,90                   |
| P <sub>rem</sub> (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>7/</sup>                | 7,00                   | 29,7                   |
| SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )                             | 0,14                   | 0,09                   |
| T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )                              | 0,34                   | 0,19                   |
| T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )                              | 7,04                   | 2,99                   |
| V (%)  | 2,00                   | 3,00                   |
| m (%)  | 58,8                   | 52,6                   |
| Areia grossa (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>8/</sup>                   | 13,0                   | 22,0                   |
| Areia fina (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>8/</sup>                     | 9,00                   | 54,0                   |
| Silte (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>8/</sup>                          | 4,00                   | 5,00                   |
| Argila (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>8/</sup>                         | 74,0                   | 19,0                   |
| Densidade (g cm <sup>-3</sup> )                                      | 1,05                   | 1,30                   |
| Capacidade de campo (%)  | 23,4                   | 7,76                   |
| Classe textural  | Muito Argilosa         | Franco-Arenosa         |

<sup>1/</sup>Latossolo Vermelho Amarelo, coletado no município de Viçosa/MG; <sup>2/</sup>Latossolo Vermelho Amarelo, coletado no município de Três Marias/MG; <sup>3/</sup>Digestão úmida – Walkley & Black; <sup>4/</sup>Extrator Mehlich-1; <sup>5/</sup>Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>6/</sup>Acidez potencial a pH 7,0 extraída com acetato de cálcio 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>7/</sup>P-rem = Fósforo remanescente, concentração de fósforo da solução de equilíbrio após agitar, durante 1 h, 5 cm<sup>3</sup> de TFSA com 50 mL de solução de CaCl<sub>2</sub> 10 mmol L<sup>-1</sup>, contendo 60 mg L<sup>-1</sup> de P; <sup>8/</sup>EMBRAPA (1997).

Amostras de solos (2 dm<sup>3</sup>) TG e TM, respectivamente, foram colocadas em sacos plásticos transparentes com capacidade de 5 dm<sup>3</sup>, tendo o seu pH ajustado para 5,5 (± 0,5) e suas deficiências de Ca e Mg, supridas pela adição de mistura CaCO<sub>3</sub> + MgCO<sub>3</sub>, p.a., na relação 4:1. Após a aplicação dos carbonatos, as amostras foram agitadas manualmente e, em seguida, foram adicionados aos solos TG e TM, 492,24 mL e 201,76 mL de água, respectivamente, de modo a atingir a capacidade de campo esperada<sup>3/</sup>. Os solos ficaram incubados durante 15 dias e, após esse período, os sacos plásticos foram abertos e deixados secar dentro da casa de vegetação (Fig. 1).

Após a completa secagem das amostras, os cinco materiais in natura (PD's), os dois fertilizantes produzidos a partir dos PD's e o fertilizante comercial (testemunha) foram aplicados aos solos nas doses de 0,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 30,0 mg dm<sup>-3</sup> de Mn (Quadro 3). O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), esquema fatorial completo (8×5×2), sendo oito fontes de Mn × 5 doses × 2 solos = 80, com 3 repetições, totalizando 240 unidades experimentais.

Durante o período de incubação, os solos permaneceram úmidos conforme a capacidade de campo anteriormente calculada. Os sacos plásticos foram abertos semanalmente, para a retirada do CO<sub>2</sub>.

---

<sup>3/</sup>E.U. (kg kg<sup>-1</sup>) = 0,293 ↔ C.C. = 0,293 × 0,80 = 0,2344. Logo, o total de água = 0,2344 × 2, 1 dm<sup>3</sup> = 0,49224 kg ou 492,24 mL de água/vaso/solo TG (idem para o TM).



**Figura 1.** a) Amostras de PD's pesadas destinadas à incubação dos solos; b) Adição do PD junto aos solos; c) Mistura manual do PD com os solos; d) Vista parcial dos tratamentos com os PD's, no final da incubação dos solos.

**Quadro 3.** Doses crescentes de PD's aplicados aos tratamentos, corrigidas pelas densidades dos solos TG e TM.

| Dose                | Barb-1                    |        | Barb-2 |        | OP-4   |        | Salv-7 |        | Cor-10 |        | SM-Com |        | SM-PD  |        | OM-PD  |        |        |
|---------------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                     | TG                        | TM     | TG     | TM     | TG     | TM     | TG     | TM     | TG     | TM     | TG     | TM     | TG     | TM     | TG     | TM     |        |
| mg dm <sup>-3</sup> | ----- Dose (g/vaso) ----- |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 0,0                 | 0,0000                    | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 2,5                 | 0,0193                    | 0,0238 | 0,0244 | 0,0302 | 0,0195 | 0,0241 | 0,0172 | 0,0213 | 0,0300 | 0,0372 | 0,0162 | 0,0200 | 0,0167 | 0,0206 | 0,0088 | 0,0108 |        |
| 5,0                 | 0,0385                    | 0,0477 | 0,0489 | 0,0605 | 0,0389 | 0,0482 | 0,0344 | 0,0425 | 0,0600 | 0,0743 | 0,0323 | 0,0400 | 0,0333 | 0,0413 | 0,0175 | 0,0217 |        |
| 7,5                 | 0,0578                    | 0,0715 | 0,0733 | 0,0907 | 0,0584 | 0,0723 | 0,0515 | 0,0638 | 0,0901 | 0,1115 | 0,0485 | 0,0600 | 0,0500 | 0,0619 | 0,0263 | 0,0325 |        |
| 30,0                | 0,2311                    | 0,2861 | 0,2931 | 0,3629 | 0,2336 | 0,2892 | 0,2061 | 0,2552 | 0,3602 | 0,4460 | 0,1938 | 0,2400 | 0,2000 | 0,2476 | 0,1050 | 0,1300 |        |

**Ex: cálculo da dose de PD (Barb-1) para o solo TG (densidade do solo = 1,05 g cm<sup>-3</sup>)**

1 kg de PD → 27,26 dag de Mn = 272,6 g de Mn

(Dose) 2,5 mg de Mn → 1 dm<sup>3</sup>

X → 2,1 dm<sup>3</sup> de solo no vaso (2 dm<sup>3</sup> × 1,05)

X = 5,25 mg de Mn

1g de PD → 272,6 mg de Mn

Y → 5,25 mg de Mn

Y = 0,0193 g de PD, aplicado ao material Barb-1, no solo TG.

### **Extração do Mn disponível em Mehlich-3 e CaCl<sub>2</sub>**

Para a extração do Mn disponível em Mehlich-3 e CaCl<sub>2</sub>, foram retiradas amostras de solos (50 g) aos 30 e 90 dias de incubação e colocadas para secar ao ar dentro da casa de vegetação (Fig. 2). Após secagem as amostras foram trituradas em almofariz e passadas em peneiras com malhas de 2 mm (Fig. 3) Em seguida foram retiradas alíquotas de 5 cm<sup>3</sup> das amostras de solos e transferidas para erlemeyer com capacidade de 100 mL. Foi adicionado 50 mL de solução Mehlich-3 (HOAc 0,2 mol L<sup>-1</sup>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 0,25 mol L<sup>-1</sup>, NH<sub>4</sub>F 0,015 mol L<sup>-1</sup>, HNO<sub>3</sub> 0,013 mol L<sup>-1</sup> e EDTA 0,001 mol L<sup>-1</sup>) (Mehlich, 1984) e após a agitação por 5 min, as amostras foram deixadas em descanso por 16 horas. Alíquotas de 20 mL foram retiradas do sobrenadante e analisadas para determinação do Mn disponível, em aparelho por espectrofotometria de absorção atômica (AAS).

Os procedimentos iniciais para a extração do Mn disponível em CaCl<sub>2</sub> foram os mesmos para o Mehlich-3, porém, há que ressaltar apenas o método de análise<sup>4/</sup>. Neste caso, após a agitação por 30 min, as soluções foram deixadas em descanso por 5 min, filtradas em papel de filtração lenta, retirando-se alíquotas de 20 mL para determinação do Mn disponível por espectrofotometria de absorção atômica (Fig. 4).

---

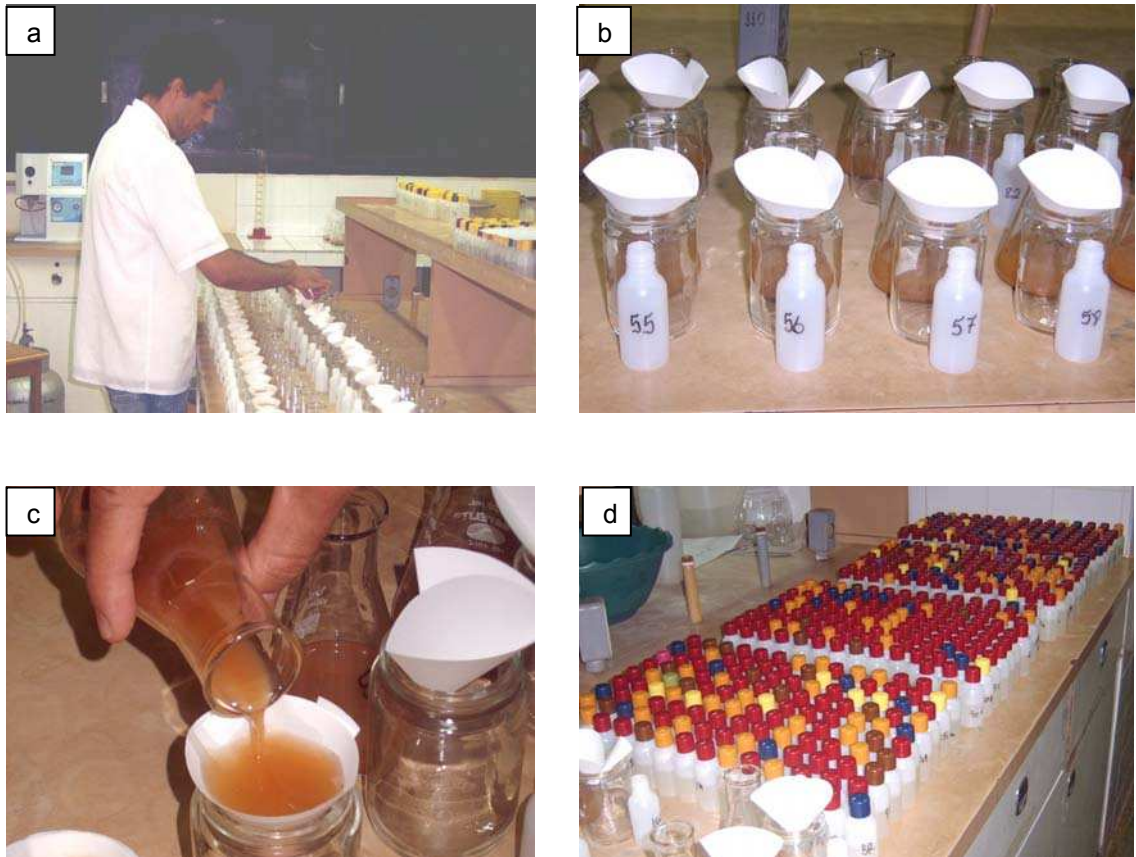
<sup>4/</sup>Método de Análises de Enxofre em Solos e Plantas (adaptado de Alvarez V. et al., 2001).



**Figura 2.** a) Coleta das amostras de solos aos 30 e 90 dias para a determinação dos teores de Mn disponível em Mehlich-3 e  $\text{CaCl}_2$ ; b) Amostra de solo retirada; c) Amostras de solos no início do processo de secagem; d) Vista geral da amostragem de solos dentro da casa de vegetação.



**Figura 3.** a,b) Preparo das amostras em almofariz para a extração de Mn em Mehlich-3; c) Preparo da solução de Mehlich-3; d,e) Adição do Mehlich-3 com dispensador automático; f) Coleta do sobrenadante com pipetador automático.



**Figura 4.** a) Preparo da vidraria para a extração de Mn disponível em  $\text{CaCl}_2$ ; b) Vista frontal dos frascos de vidros preparados com o papel de filtro; c) Filtração lenta do Mn disponível em  $\text{CaCl}_2$ ; d) Frascos preparados para leitura no aparelho de espectrofotometria de absorção atômica (AAS).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença altamente significativa ( $p < 0,01$ ) pelo teste F, nas interações dupla e tripla, principalmente, para o extrator  $\text{CaCl}_2$ . O quadro da ANOVA (Quadro 4) mostra coeficientes de variação (C.V.) menores para o Mehlich-3 em relação ao  $\text{CaCl}_2$ , indicando ser o Mehlich-3 mais eficiente na extração de Mn em ambos os solos.

**Quadro 4.** Análise de variância com três fatores (Dose, Material e solo) e três repetições, para o Mn disponível em Mehlich-3 e Mn solúvel em  $\text{CaCl}_2$  (aos 30 e 90 dias) nos solos TG e TM.

| Fonte de Variação | G.L. | Quadrado Médio |    |         |    |                    |    |         |    |
|-------------------|------|----------------|----|---------|----|--------------------|----|---------|----|
|                   |      | Mn Melich-3    |    |         |    | Mn $\text{CaCl}_2$ |    |         |    |
|                   |      | 30 dias        |    | 90 dias |    | 30 dias            |    | 90 dias |    |
| Dose (D)          | 4    | 44,4561        | ** | 37,6314 | ** | 5,68068            | ** | 1,71891 | ** |
| Material (M)      | 7    | 2,84396        | ** | 3,02476 | ** | 0,33443            | ** | 0,09111 | ** |
| Solo (S)          | 1    | 0,47730        | ** | 0,02231 | ns | 6,44848            | ** | 1,63168 | ** |
| D * M             | 28   | 0,89249        | ** | 1,10176 | ** | 0,14406            | ** | 0,04260 | ** |
| D * S             | 4    | 0,05101        | *  | 0,11963 | ** | 1,45563            | ** | 0,17391 | ** |
| M * S             | 7    | 0,02744        | ns | 0,02596 | ns | 0,07619            | ** | 0,04790 | ** |
| D * M * S         | 28   | 0,06907        | ** | 0,02424 | ns | 0,02653            | ** | 0,02721 | ** |
| Resíduo           | 160  | 2,84396        |    | 0,02121 |    | 0,00381            |    | 0,00574 |    |
| C.V. (%)          |      | 9,7695         |    | 11,089  |    | 15,437             |    | 26,424  |    |

\*\* , \* e ns: significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

O teste de médias mostrou que somente a partir da dose  $2,5 \text{ mg dm}^{-3}$  Mn foram observados efeitos das doses em relação aos tratamentos e épocas de amostragem (Quadros 5 e 6).

Os maiores teores de Mn obtidos pelos extratores Mehlich-3 e  $\text{CaCl}_2$ , foram proveniente do material Salv-7 (Quadros 5 e 6). Esse fato pode ser justificado, devido o Salv-7 apresentar pH baixo em relação aos demais (Quadro 2, do Cap. I). Segundo Lindsay (1978), a solubilidade do  $\text{Mn}^{2+}$  aumenta em valores de pH abaixo de 5,5. Além do mais, o teor total de Mn no Salv-7 ( $30,6 \text{ dag kg}^{-1} \text{ Mn}$ ) é superior aos outros PDs "in natura". Há que ressaltar também que os teores de Mn encontrados em ambos os solos com adição do Salv-7 (material 4), também foram superiores em relação ao SM-

Com (testemunha), ao SM-PD (material 7) e ao OM-PD (material 8), apesar desses materiais apresentarem teores totais de Mn maiores que o Salv-7 (32,50; 31,0 e 60,0 dag kg<sup>-1</sup> Mn, respectivamente).

Os menores teores de Mn extraídos pelo Mehlich-3 aos 30 e 90 dias, foram observados com o Cor-10 (material 5). Comportamento semelhante foi observado com os teores de Mn extraídos pelo CaCl<sub>2</sub>, devido ao fato do Cor-10 conter uma menor concentração de Mn em relação aos demais (17,49 dag kg<sup>-1</sup> Mn).

Em todos os tratamentos, o SM-PD, produzido a partir do PD, equiparou-se ou foi superior ao SM-Com (Testemunha), apesar do SM-PD conter um teor de Mn ligeiramente menor (31,0 dag kg<sup>-1</sup> Mn) que o SM-Com (32,5 dag kg<sup>-1</sup> Mn). Importante ressaltar também, que apesar do material 8 (OM-PD) conter um teor de Mn considerado alto (60,0 dag kg<sup>-1</sup> Mn), as concentrações de Mn encontrados nos extratos (Mehlich-3 e CaCl<sub>2</sub>) em ambos os solos ficaram um pouco abaixo em relação ao SM-Com (Quadros 5 e 6).

Pela análise de regressão, observou-se que os teores de Mn no solo TG, aumentaram em resposta ao incremento das doses de PD's. Além disso, evidenciou-se o Mehlich-3 como melhor extrator, independentemente do tempo de incubação (Quadro 7; Fig. 7).

Para o solo 3M, observou-se uma mesma tendência que no solo TG (Quadro 8; Fig. 8).

**Quadro 5.** Mn extraído por Mehlich-3 e CaCl<sub>2</sub>, de amostras do solo TG em cinco doses de cada material, aos 30 e 90 dias.

| Solo                         | Dose | Material                        |          |          |          |          |          |          |          |           |
|------------------------------|------|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|                              |      | 1                               | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        |           |
|                              |      | ----- mg dm <sup>-3</sup> ----- |          |          |          |          |          |          |          |           |
| Melich-3<br>30 dias          | TG   | 0.0                             | 0.806 a  | 0.840 a  | 0.817 a  | 0.804 a  | 0.842 a  | 0.754 a  | 0.773 a  | 0.749 a   |
|                              |      | 2.5                             | 0.924 a  | 0.971 a  | 0.938 a  | 1.225 a  | 0.920 a  | 1.033 a  | 0.997 a  | 0.956 a   |
|                              |      | 5.0                             | 1.088 b  | 1.122 b  | 1.052 b  | 1.678 a  | 1.097 b  | 1.311 b  | 1.153 b  | 1.082 b   |
|                              |      | 7.5                             | 1.348 b  | 1.256 b  | 1.292 b  | 1.905 a  | 1.080 b  | 1.396 b  | 1.421 b  | 1.224 b   |
|                              |      | 30.0                            | 2.863 cd | 2.711 de | 2.365 ef | 5.871 a  | 2.215 f  | 3.332 b  | 3.420 b  | 3.114 bc  |
| Melich-3<br>90 dias          | TG   | 0.0                             | 0.727 a  | 0.705 a  | 0.652 a  | 0.692 a  | 0.713 a  | 0.744 a  | 0.696 a  | 0.715 a   |
|                              |      | 2.5                             | 0.848 a  | 0.864 a  | 0.958 a  | 1.043 a  | 0.817 a  | 0.925 a  | 0.876 a  | 0.819 a   |
|                              |      | 5.0                             | 0.979 b  | 0.951 b  | 0.928 b  | 1.400 a  | 0.905 b  | 1.084 ab | 1.166 ab | 1.061 ab  |
|                              |      | 7.5                             | 1.125 bc | 1.158 bc | 1.084 bc | 1.655 a  | 0.975 bc | 1.252 b  | 0.877 c  | 1.042 c   |
|                              |      | 30.0                            | 2.606 c  | 2.213 d  | 2.037 d  | 5.231 a  | 1.872 d  | 2.765 b  | 3.061 bc | 2.687 c   |
| CaCl <sub>2</sub><br>30 dias | TG   | 0.0                             | 0.178 a  | 0.187 a  | 0.180 a  | 0.151 a  | 0.175 a  | 0.149 a  | 0.216 a  | 0.195 a   |
|                              |      | 2.5                             | 0.224 b  | 0.236 b  | 0.242 b  | 0.312 ab | 0.266 ab | 0.410 a  | 0.309 ab | 0.340 ab  |
|                              |      | 5.0                             | 0.334 bc | 0.313 c  | 0.300 c  | 0.501 a  | 0.337 bc | 0.502 a  | 0.479 ab | 0.407 abc |
|                              |      | 7.5                             | 0.470 bc | 0.367 c  | 0.375 c  | 0.566 ab | 0.375 c  | 0.565 ab | 0.649 a  | 0.494 c   |
|                              |      | 30.0                            | 1.145 c  | 1.100 cd | 0.964 de | 1.607 b  | 0.925 e  | 2.101 a  | 2.190 a  | 1.713 b   |
| CaCl <sub>2</sub><br>90 dias | TG   | 0.0                             | 0.174 a  | 0.159 a  | 0.178 a  | 0.131 a  | 0.169 a  | 0.154 a  | 0.157 a  | 0.163 a   |
|                              |      | 2.5                             | 0.219 a  | 0.224 a  | 0.231 a  | 0.255 a  | 0.235 a  | 0.297 a  | 0.198 a  | 0.259 a   |
|                              |      | 5.0                             | 0.268 a  | 0.238 a  | 0.249 a  | 0.400 a  | 0.284 a  | 0.281 a  | 0.377 a  | 0.248 a   |
|                              |      | 7.5                             | 0.410 ab | 0.262 b  | 0.245 b  | 0.493 a  | 0.315 ab | 0.334 a  | 0.462 a  | 0.321 a   |
|                              |      | 30.0                            | 0.737 cd | 0.597 de | 0.576 de | 1.459 a  | 0.432 e  | 0.581 de | 1.069 b  | 0.920 bc  |

As médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

1 (Barb-1), 2 (Barb-2), 3 (OP-4), 4 (Salv-7), 5 (Cor-10), 6 (SM-com), 7 (SM-PD) e 8 (OM- PD).

**Quadro 6.** Mn extraído por Mehlich-3 e CaCl<sub>2</sub>, de amostras do solo TM em cinco doses de cada material, aos 30 e 90 dias.

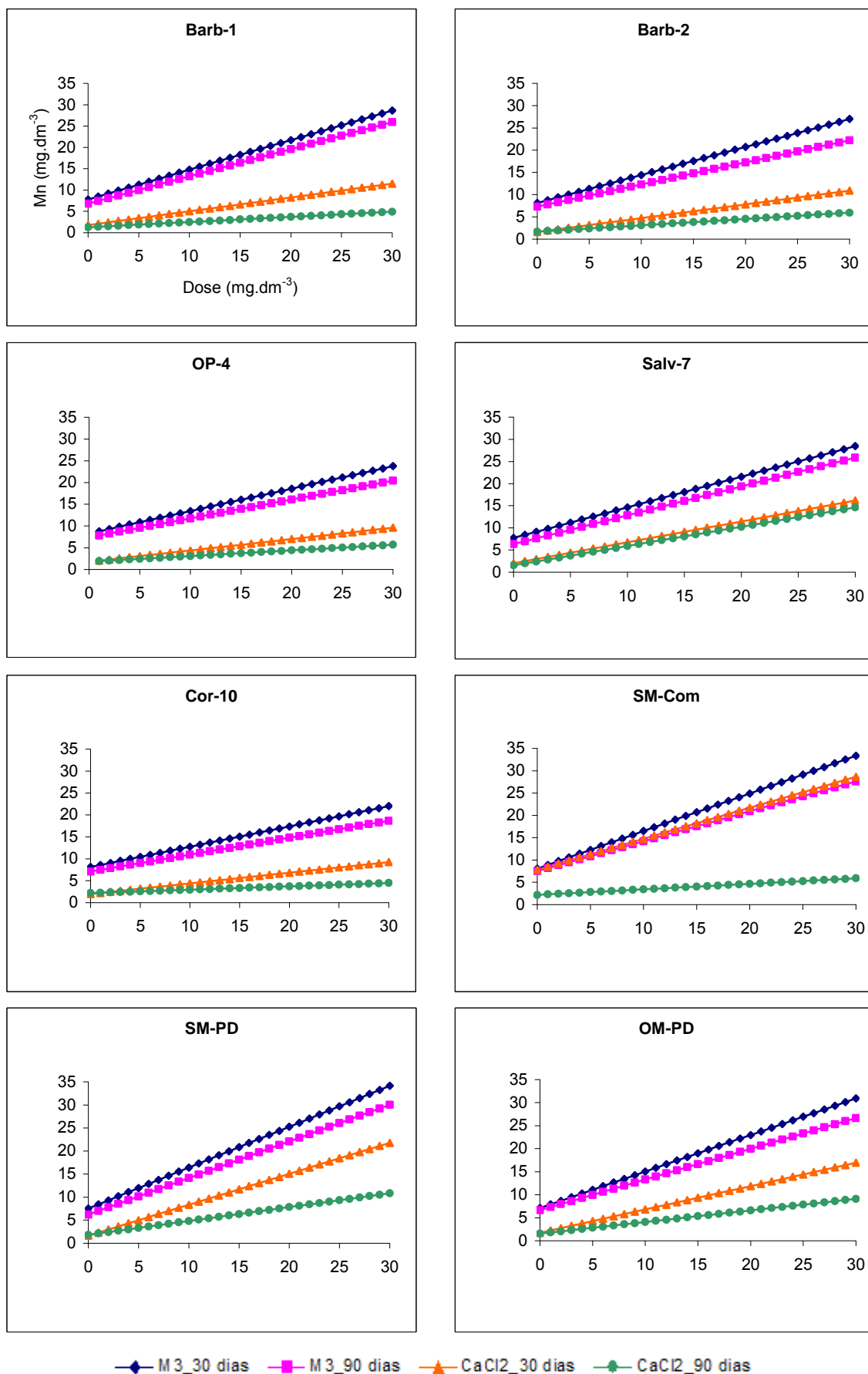
| Solo                         | Dose | Material                        |          |           |          |         |          |         |         |          |
|------------------------------|------|---------------------------------|----------|-----------|----------|---------|----------|---------|---------|----------|
|                              |      | 1                               | 2        | 3         | 4        | 5       | 6        | 7       | 8       |          |
|                              |      | ----- mg dm <sup>-3</sup> ----- |          |           |          |         |          |         |         |          |
| Melich-3<br>30 dias          | TM   | 0.0                             | 0.717 a  | 0.693 a   | 0.650 a  | 0.680 a | 0.698 a  | 0.691 a | 0.642 a | 0.671 a  |
|                              |      | 2.5                             | 0.952 a  | 0.926 a   | 0.820 a  | 1.135 a | 0.839 a  | 0.898 a | 0.902 a | 0.923 a  |
|                              |      | 5.0                             | 1.098 b  | 1.189 b   | 0.978 b  | 1.612 a | 0.945 b  | 1.156 b | 1.033 b | 1.054 b  |
|                              |      | 7.5                             | 1.266 a  | 1.291 b   | 1.094 b  | 2.180 b | 1.036 b  | 1.369 b | 1.313 b | 1.301 b  |
|                              |      | 30.0                            | 2.629 cd | 2.630 cd  | 2.567 d  | 4.719 a | 2.170 e  | 3.300 b | 3.482 b | 2.931 c  |
| Melich-3<br>90 dias          | TM   | 0.0                             | 0.597 a  | 0.585 a   | 0.571 a  | 0.595 a | 0.576 a  | 0.580 a | 0.558 a | 0.572 a  |
|                              |      | 2.5                             | 0.809 a  | 0.774 a   | 0.710 a  | 1.027 a | 0.750 a  | 0.787 a | 0.803 a | 0.839 a  |
|                              |      | 5.0                             | 0.862 b  | 1.002 b   | 0.864 b  | 1.482 b | 0.857 a  | 1.036 b | 0.923 b | 0.945 b  |
|                              |      | 7.5                             | 2.079 a  | 1.223 b   | 1.200 b  | 1.148 b | 1.122 b  | 1.104 b | 1.030 b | 0.921 b  |
|                              |      | 30.0                            | 2.455 c  | 2.427 c   | 2.247 cd | 5.364 a | 1.982 d  | 3.107 b | 3.047 b | 2.577 c  |
| CaCl <sub>2</sub><br>30 dias | TM   | 0.0                             | 0.133 a  | 0.113 a   | 0.106 a  | 0.120 a | 0.109 a  | 0.109 a | 0.102 a | 0.102 a  |
|                              |      | 2.5                             | 0.157 a  | 0.127 a   | 0.112 a  | 0.143 a | 0.158 a  | 0.175 a | 0.153 a | 0.152 a  |
|                              |      | 5.0                             | 0.188 a  | 0.145 a   | 0.141 a  | 0.114 a | 0.179 a  | 0.234 a | 0.219 a | 0.190 a  |
|                              |      | 7.5                             | 0.174 a  | 0.169 a   | 0.205 a  | 0.164 a | 0.183 a  | 0.273 a | 0.296 a | 0.228 a  |
|                              |      | 30.0                            | 0.347 cd | 0.408 bcd | 0.325 cd | 0.257 d | 0.436 bc | 1.036 a | 0.897 a | 0.555 b  |
| CaCl <sub>2</sub><br>90 dias | TM   | 0.0                             | 0.133 a  | 0.120 a   | 0.119 a  | 0.115 a | 0.099 a  | 0.101 a | 0.068 a | 0.074 a  |
|                              |      | 2.5                             | 0.125 a  | 0.148 a   | 0.093 a  | 0.166 a | 0.127 a  | 0.120 a | 0.119 a | 0.136 a  |
|                              |      | 5.0                             | 0.218 a  | 0.123 a   | 0.139 a  | 0.204 a | 0.164 a  | 0.178 a | 0.139 a | 0.163 a  |
|                              |      | 7.5                             | 0.221 a  | 0.223 a   | 0.141 a  | 0.238 a | 0.160 a  | 0.210 a | 0.173 a | 0.197 a  |
|                              |      | 30.0                            | 0.490 a  | 0.507 a   | 0.359 ab | 0.489 a | 0.229 b  | 0.470 a | 0.473 a | 0.397 ab |

As médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

1 (Barb-1), 2 (Barb-2), 3 (OP-4), 4 (Salv-7), 5 (Cor-10), 6 (SM-com), 7 (SM-PD) e 8 (OM- PD).

**Quadro 7.** Equações de regressão para os teores de Mn ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo argiloso (TG), pelos extratores Mehlich-3 (M3) e cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), em função de doses de Mn ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) fornecidas pelos materiais testados, para os tempos de incubação aos 30 e 90 dias.

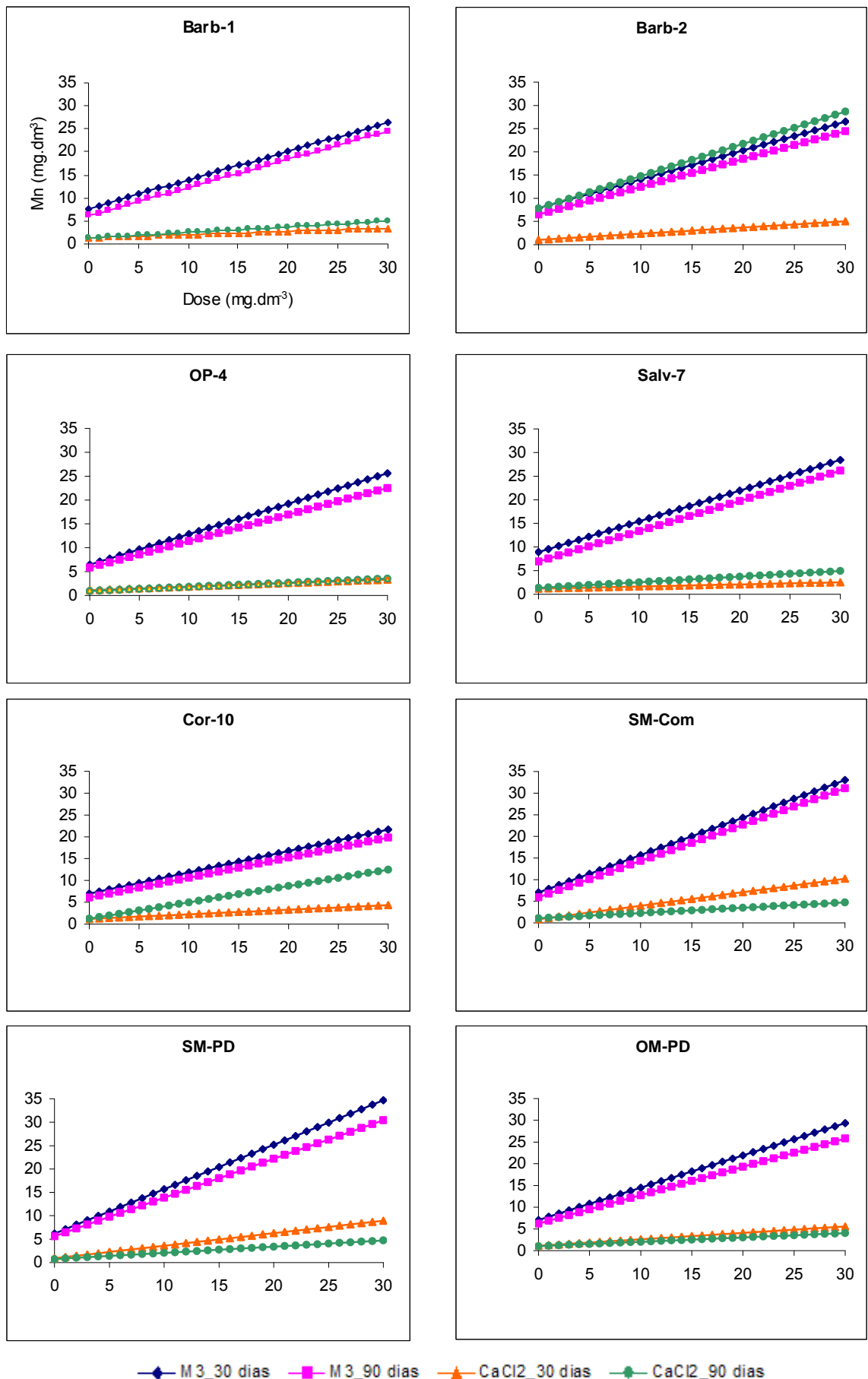
| MATERIAL | TEMPO | EQUAÇÃO                   |                            |
|----------|-------|---------------------------|----------------------------|
|          |       | M3                        | $\text{CaCl}_2$            |
| Barb-1   | 30    | $\hat{Y} = 7,81 + 0,695X$ | $\hat{Y} = 1,77 + 0,325X$  |
|          | 90    | $\hat{Y} = 6,84 + 0,636X$ | $\hat{Y} = 1,95 + 0,185X$  |
| Barb-2   | 30    | $\hat{Y} = 8,13 + 0,629X$ | $\hat{Y} = 1,61 + 0,310X$  |
|          | 90    | $\hat{Y} = 7,31 + 0,497X$ | $\hat{Y} = 1,68 + 0,142X$  |
| OP-4     | 30    | $\hat{Y} = 8,28 + 0,516X$ | $\hat{Y} = 1,76 + 0,262X$  |
|          | 90    | $\hat{Y} = 7,40 + 0,434X$ | $\hat{Y} = 1,77 + 0,131X$  |
| Salv-7   | 30    | $\hat{Y} = 7,74 + 0,691X$ | $\hat{Y} = 2,02 + 0,472X$  |
|          | 90    | $\hat{Y} = 6,32 + 0,652X$ | $\hat{Y} = 1,54 + 0,436X$  |
| Cor-10   | 30    | $\hat{Y} = 8,14 + 0,462X$ | $\hat{Y} = 1,96 + 0,243X$  |
|          | 90    | $\hat{Y} = 7,09 + 0,386X$ | $\hat{Y} = 2,19 + 0,0759X$ |
| SM-Com   | 30    | $\hat{Y} = 8,06 + 0,843X$ | $\hat{Y} = 7,81 + 0,695X$  |
|          | 90    | $\hat{Y} = 7,49 + 0,671X$ | $\hat{Y} = 2,17 + 0,124X$  |
| SM-PD    | 30    | $\hat{Y} = 7,55 + 0,886X$ | $\hat{Y} = 1,64 + 0,671X$  |
|          | 90    | $\hat{Y} = 6,19 + 0,795X$ | $\hat{Y} = 1,81 + 0,301X$  |
| OM-PD    | 30    | $\hat{Y} = 7,10 + 0,794X$ | $\hat{Y} = 1,72 + 0,508X$  |
|          | 90    | $\hat{Y} = 6,64 + 0,667X$ | $\hat{Y} = 1,55 + 0,252X$  |



**Fig 7.** Gráficos das equações de regressão para os teores de Mn ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo argiloso (TG), obtidos pelos extratores Mehlich-3 (M3) e Cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), em função de doses de Mn ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) fornecidas pelos materiais testados, para os tempos de incubação aos 30 e 90 dias

**Quadro 8.** Equações de regressão para os teores de Mn ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo arenoso (3M), pelos extratores Mehlich-3 (M3) e cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), em função de doses de Mn ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) fornecidas pelos materiais testados, para os tempos de incubação aos 30 e 90 dias.

| MATERIAL | TEMPO | EQUAÇÃO                   |                            |
|----------|-------|---------------------------|----------------------------|
|          |       | M3                        | $\text{CaCl}_2$            |
| Barb-1   | 30    | $\hat{Y} = 7,70 + 0,622X$ | $\hat{Y} = 1,37 + 0,069X$  |
|          | 90    | $\hat{Y} = 6,12 + 0,614X$ | $\hat{Y} = 1,28 + 0,121X$  |
| Barb-2   | 30    | $\hat{Y} = 7,85 + 0,622X$ | $\hat{Y} = 1,04 + 0,133X$  |
|          | 90    | $\hat{Y} = 6,47 + 0,599X$ | $\hat{Y} = 7,81 + 0,695X$  |
| OP-4     | 30    | $\hat{Y} = 6,47 + 0,638X$ | $\hat{Y} = 1,11 + 0,073X$  |
|          | 90    | $\hat{Y} = 5,83 + 0,556X$ | $\hat{Y} = 0,916 + 0,087X$ |
| Salv-7   | 30    | $\hat{Y} = 8,93 + 0,65X$  | $\hat{Y} = 1,18 + 0,045X$  |
|          | 90    | $\hat{Y} = 6,94 + 0,64X$  | $\hat{Y} = 1,34 + 0,119X$  |
| Cor-10   | 30    | $\hat{Y} = 6,97 + 0,489X$ | $\hat{Y} = 1,18 + 0,105X$  |
|          | 90    | $\hat{Y} = 6,04 + 0,459X$ | $\hat{Y} = 1,22 + 0,375X$  |
| SM-Com   | 30    | $\hat{Y} = 7,01 + 0,867X$ | $\hat{Y} = 0,83 + 0,313X$  |
|          | 90    | $\hat{Y} = 5,90 + 0,840X$ | $\hat{Y} = 1,05 + 0,122X$  |
| SM-PD    | 30    | $\hat{Y} = 6,18 + 0,950X$ | $\hat{Y} = 0,926 + 0,267X$ |
|          | 90    | $\hat{Y} = 5,60 + 0,828X$ | $\hat{Y} = 0,75 + 0,132X$  |
| OM-PD    | 30    | $\hat{Y} = 7,06 + 0,744X$ | $\hat{Y} = 1,12 + 0,148X$  |
|          | 90    | $\hat{Y} = 6,23 + 0,653X$ | $\hat{Y} = 1,03 + 0,100X$  |



**Fig 8.** Gráficos das equações de regressão para os teores de Mn ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo arenoso (3M), obtidos pelos extratores Mehlich-3 (M3) e Cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), em função de doses de Mn ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) fornecidas pelos materiais testados, para os tempos de incubação aos 30 e 90 dias.

## 4. CONCLUSÕES

1. Houve efeito de doses nos tratamentos de PD's, nos solos TG e 3M em diferentes épocas de amostragem;
2. Os extratores Mehlich-3 e  $\text{CaCl}_2$  foram eficientes na extração de Mn nos solos TG e TM;
3. O extrator Melich-3 foi superior na extração de Mn nos solos TG e 3M, quando comparado ao  $\text{CaCl}_2$ ;

## CAPÍTULO III

# AVALIAÇÃO DE PÓ DE DESPOEIRAMENTO COMO FONTE DE MANGANÊS PARA O CULTIVO DE ESPÉCIES VEGETAIS

## 1. INTRODUÇÃO

O manganês (Mn) é um elemento essencial em todos os estágios de desenvolvimento das espécies de plantas. O Mn atua como co-fator de várias enzimas tais como Mn-superóxido dismutase, Mn-catalase, piruvato-carboxilase e fosfoenolpiruvato-carboxiquinase. Por essa razão, a incorporação de Mn pelas células é essencial, particularmente na fotossíntese, onde o Mn tem um papel crítico como acumulador de cargas positivas na reação catalizada no fotossistema II (Marschner, 1995).

Na presença de quantidades excessivas de suas formas trocável e solúvel no meio de crescimento, os tecidos vegetais apresentarão elevadas quantidades de Mn, podendo atingir níveis tóxicos. O excesso de Mn pode causar sintomas de toxicidade nas raízes, após as folhas terem sido danificadas (FOY, 1976; FOY *et al.*, 1978).

O efeito da toxicidade de manganês nas plantas é difícil de ser estudado isoladamente, por causa das interações existentes entre ele e outros elementos, tais como Fe, Al, Si e Ca. Essas interações podem ser responsáveis pela diversidade de sintomas e pelos diferentes graus de redução no crescimento em espécies e cultivares diferentes (FOY *et al.*, 1978).

O Mn parece ser pouco transportado pelo floema, o que pode explicar sua concentração relativamente baixa em frutos, sementes e órgãos de reserva das raízes. A mobilidade de Mn é menor quando há pouca disponibilidade do elemento nas plantas, reduzindo a translocação de manganês das folhas velhas para as novas nessas condições (Kabata-Pendias & Pendias, 1984). Magalhães (1988) também afirma que o Mn é um elemento bastante imóvel nos vegetais e por isso, seus sintomas visuais de deficiência aparecem primeiro nas folhas novas.

O Mn ocorre em solução em diversas espécies, mas nas condições redox encontradas em solos bem drenados, a espécie  $Mn^{2+}$  é a mais abundante, sendo as espécies resultantes de hidrólise do manganês,  $Mn(OH)^+$  e  $Mn(OH)_2^0$  de menor importância. O  $Mn^{2+}$  pode formar complexos com os íons cloreto, sulfato, carbonato, formando espécies como  $MnCl^+$ ,  $MnCO_3^0$  e  $MnSO_4^0$  que, em certas circunstâncias, podem assumir alguma importância na solução. As reações redox são de fundamental importância no que diz respeito ao comportamento do manganês no solo (CHENG & OUELLETTE, 1971).

GODO & REISENAUER (1980) verificaram que, apesar da solubilidade do  $Mn^{2+}$  ter aumentado com a diminuição do pH, a absorção pela raiz diminuiu e sugeriram que os exsudatos orgânicos radiculares formaram complexos com o  $Mn^{2+}$ , em condições de campo.

Para REDDY & PERKINS (1976), a fixação do Mn em illita e montmorilonita foi maior que em caulinita e, em todas, ela foi função do pH e da quantidade de manganês adicionada.

SHUMAN (1977) estudou quatro solos de diferentes mineralogias usando isoterma de adsorção de Langmuir e constatou que a capacidade de adsorção era maior para os solos com maior quantidade de minerais na fração argila e maior teor de matéria orgânica, para mesmo pH.

O mecanismo que governa o movimento do Mn até a raiz depende de propriedades do solo. Quando a concentração do Mn na solução do solo é baixa (extrato de saturação com Mn  $0,4 \mu\text{mol L}^{-1}$ ), a difusão é o mecanismo preponderante; se a concentração é maior que  $14 \mu\text{mol L}^{-1}$ , o fluxo de massa é mais importante. Como a solubilidade do Mn depende das condições de pH e potencial redox do solo, estes fatores são importantes na determinação da disponibilidade de Mn e, na sua lixiviação (OLIVER & BARBER, 1966; HALSTEAD *et al.*, 1968).

Em geral, condições de acidez no solo favorecem o acúmulo de concentrações tóxicas de Mn, em virtude do aumento da solubilidade em valores de pH abaixo de 5,0 (FOY, 1973).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de uso dos PD's como fonte de manganês em plantas de soja e eucalipto, bem como, o seu efeito como agente de transferência de metais pesados para os tecidos das mesmas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para os estudos agronômicos realizados com plantas de soja e eucalipto em casa de vegetação, os procedimentos de incubação dos solos foram basicamente os mesmos descritos no capítulo II. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por esquema fatorial incompleto, sendo sete fontes de Mn [(5 PDs “in natura” + 1 fertilizante produzido com o PD + 1 fertilizante comercial) × 5 doses × 2 solos × 2 culturas] + [1 material (fertilizante produzido com o PD) × 2 doses × 2 solos × 2 culturas], com três repetições, totalizando 444 unidades experimentais.

Após a incubação dos solos com os carbonatos, os sacos plásticos foram abertos e expostos ao ar dentro da casa de vegetação. Após a completa secagem dos mesmos, realizou-se uma adubação de pré-plantio (Novais et al., 1991), misturando-se ao solo, 300 mg dm<sup>-3</sup> de P, na forma de fosfato monoamônico (NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>). Em seguida, as amostras receberam a aplicação das cinco doses dos materiais (PD) para fornecer o equivalente a 0,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 30,0 mg dm<sup>-3</sup> de Mn, com exceção do óxido de manganês produzido com PD, que foi avaliado apenas com duas doses (2,5 e 30,0 mg dm<sup>-3</sup>). A dose de 30,0 mg dm<sup>-3</sup> constituiu um tratamento com caráter mais de observação, visando avaliar uma situação de dosagem extrema de Mn, não usual para a fertilização de culturas.

Decorrido o período de incubação, as amostras foram abertas dentro da casa de vegetação e deixadas secar ao ar. Concomitantemente, os vasos (2 dm<sup>3</sup>) foram etiquetados e tapados os fundos com fita isolante, com a finalidade de evitar a perda de elementos por lixiviação. Em seguida, as amostras foram transferidas para os vasos e adicionou-se água conforme a capacidade de campo anteriormente calculada (Fig. 1).

Após essa etapa, foram realizados, semeio da soja (*Glycine max L.*), variedade Conquista, e do eucalipto (*Eucaliptus sp*), híbrido Urograndis, utilizando-se cinco sementes por vaso para a soja e o semeio a lanço para o eucalipto (Fig. 2). Após 15 dias foi feito o desbaste deixando-se duas plantas cada espécie por vaso.

Quando a maioria dos cotilédones da soja entrou em senescência, e para o eucalipto, quando as plantas atingiram aproximadamente 2,0 cm de altura foi realizada a aplicação de solução nutritiva (Novais et al., 1991) isenta

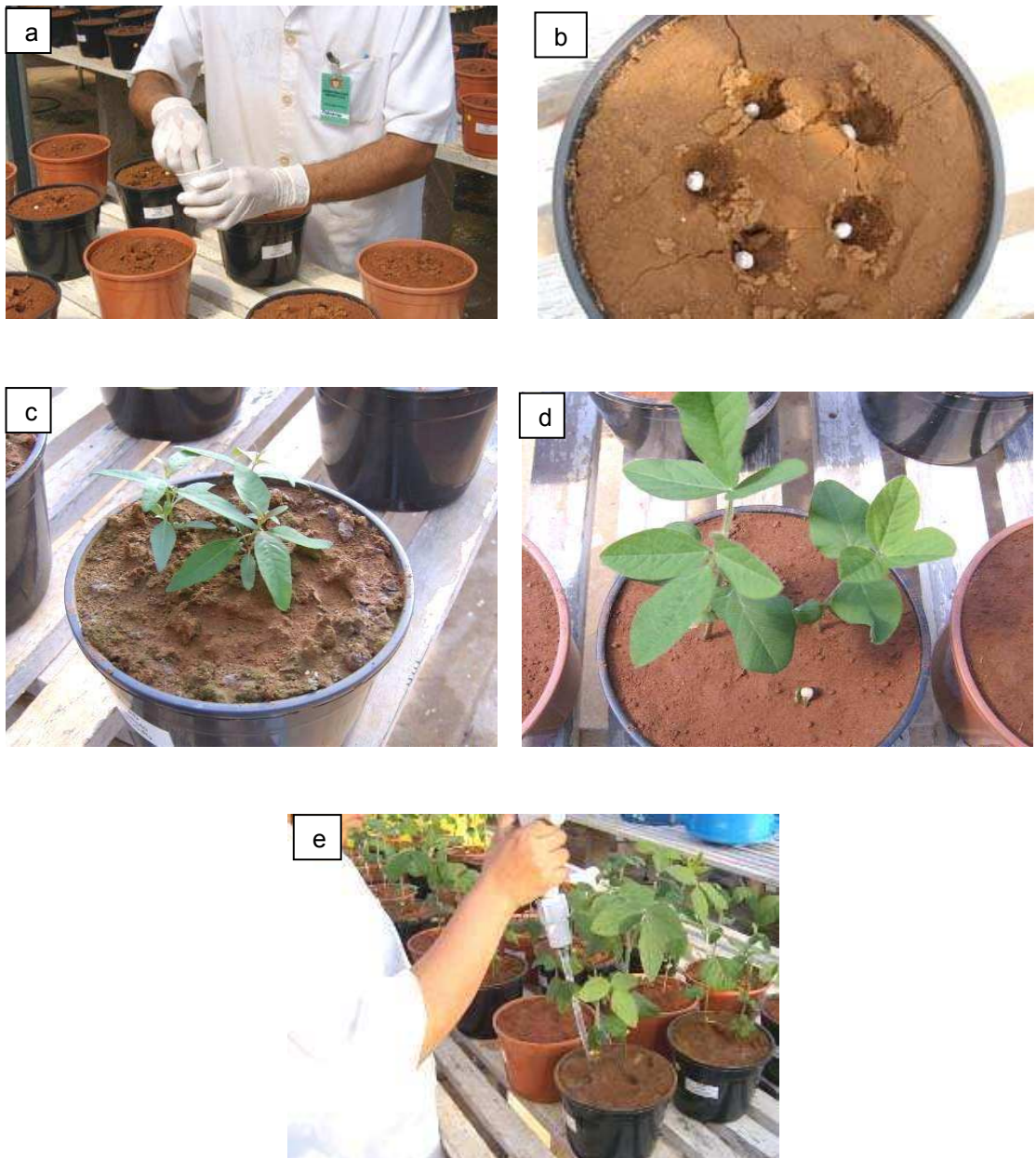
de Mn, contendo os seguintes nutrientes: 100 mg dm<sup>-3</sup> de N, 150 mg dm<sup>-3</sup> de K, 40 mg dm<sup>-3</sup> de S, 0,81 mg dm<sup>-3</sup> de B, 1,33 mg dm<sup>-3</sup> de Cu, 1,55 mg dm<sup>-3</sup> de Fe, 0,15 mg dm<sup>-3</sup> de Mo e 4,00 mg dm<sup>-3</sup> de Zn. Utilizaram-se como fonte desses elementos a uréia ((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO), cloreto de potássio (KCl), bissulfato de sódio (NaHSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O), ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), cloreto de cobre (CuCl), cloreto de ferro (FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O), molibdato de sódio (NaMoO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O) e cloreto de zinco (ZnCl<sub>2</sub>), respectivamente.

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), conforme descrito no capítulo I.

Aos 90 e 120 DAE para a soja e eucalipto, respectivamente, foi realizado o corte das plantas, separando-se, parte aérea e raízes (Fig. 3). O material foi acondicionado em saco de papel e colocado em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C por 72 horas. Após a determinação do peso da matéria seca, procedeu-se a moagem do material vegetal. O material foi novamente seco em estufa com circulação 65°C por 16 horas. Foram determinados os teores de P, S, Fe, Mn, Zn, Cu, As, Cr, Ni, e Cd nos tecidos das plantas, após a digestão nítrico perclórica (3:1), por espectrofotometria de emissão óptica com plasma induzido acoplado (ICP-OES). Os dados foram submetidos à análise de regressão linear múltipla, considerando-se as doses de 0 a 7,5 mg dm<sup>-3</sup>, avaliando-se a produção da massa de matéria seca, concentração e acúmulo dos elementos químicos na parte aérea e raízes das plantas de soja e do eucalipto.



**Figura 1.** a,b) Vasos sendo etiquetados e tapados com fita isolante; c) Transferência dos tratamentos para os vasos; d) Adição de água para atingir capacidade de campo, antes do semeio;



**Figura 2.** a) Semeadura da soja; b) Disposição das sementes vistas de cima; c, d) Plantas de eucalipto e soja após o desbaste (duas plantas/vaso); e) Adubação em cobertura;

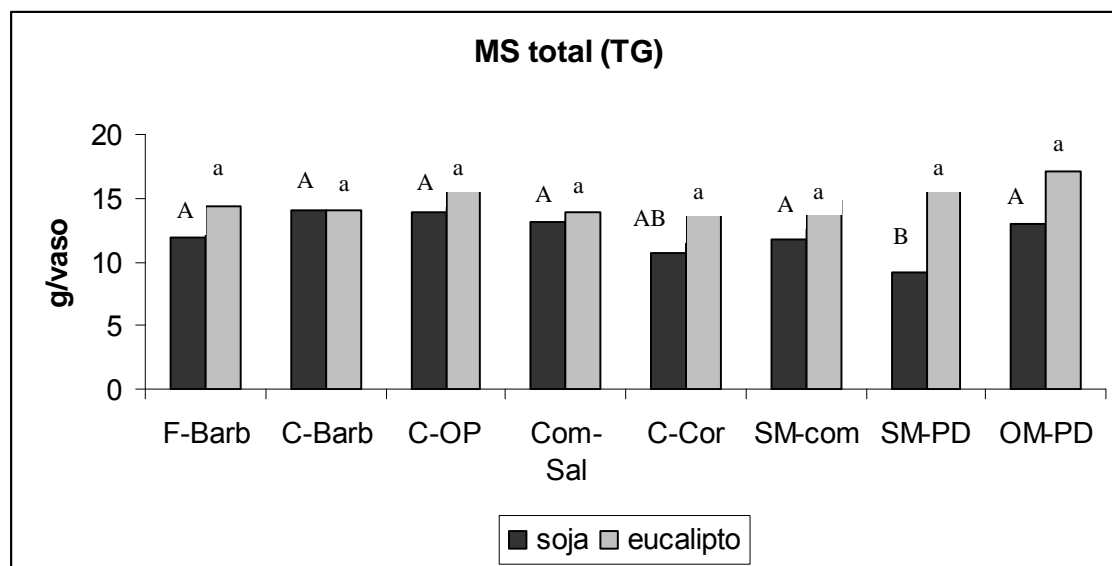


**Figura 3.** a, b) Vista geral das plantas de eucalipto e soja antes do corte; c) Momento do corte das plantas; d) Lavagem das raízes em água corrente; e, f) Raízes colocadas em cima dos vasos para escorrerem o excesso de água.

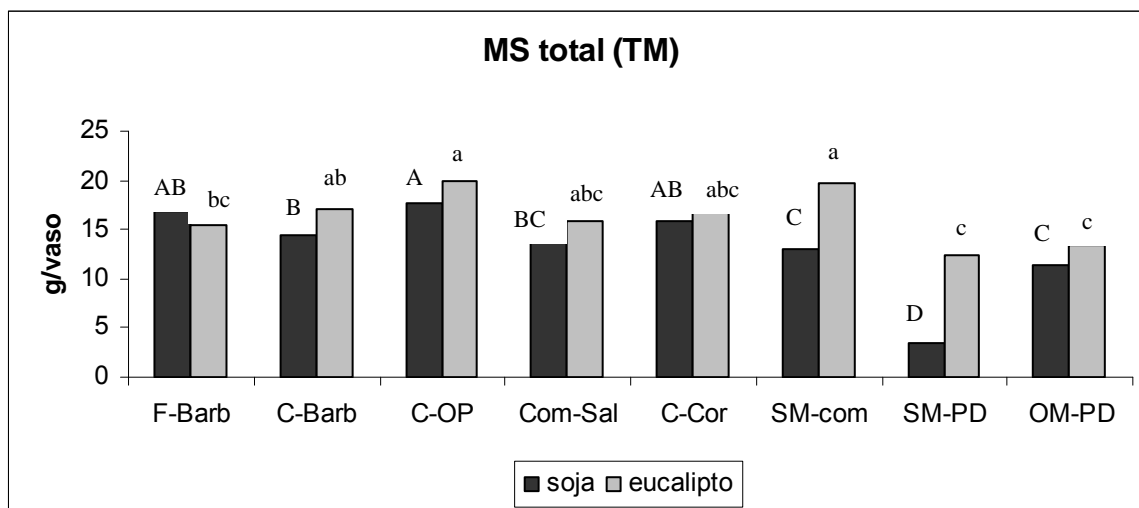
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de matéria seca de soja, no solo TG, variou com as fontes de Mn avaliadas, com diferença de 52% entre a maior e menor produção, ou seja, a maior produção foi obtida com C-OP e a menor com SM-PD. A menor produção também no solo TM foi obtida com o SM-PD (Fig. 4). Comportamento semelhante foi observado para a produção de massa da matéria seca de eucalipto no solo TM (Fig. 5). Por outro lado, o SM-PD foi o produto que resultou na maior produção de massa da matéria seca de eucalipto no solo TG. Estes resultados indicam que a resposta das plantas variou com a fonte de Mn e com o tipo de solo onde as plantas foram cultivadas.

Nenhum material causou efeitos tóxicos que provocassem a morte ou drástica redução de biomassa. Deve-se ressaltar que isso ocorreu mesmo com a utilização de uma dose de Mn acima das quantidades normalmente utilizadas em culturas comerciais (30 mg dm<sup>-3</sup> de Mn).



**Figura 4.** Massa de matéria seca total média de soja e de eucalipto cultivados no solo TG em função de diferentes fontes de Mn (Colunas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey).



**Figura 5.** Massa de matéria seca total média de soja e de eucalipto cultivados no solo TM em função de diferentes fontes de Mn (Colunas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey).

Os teores de Mn nas plantas de soja no solo TG ficaram entre 103 mg kg<sup>-1</sup> (dose de 2,5 mg dm<sup>-3</sup>) e 586 mg kg<sup>-1</sup> (dose de 30 mg dm<sup>-3</sup>) e no solo TM os valores variaram de 134 a 825 mg kg<sup>-1</sup>. Independentemente do solo, a fonte que proporcionou maiores teores de Mn nas plantas foi o PD do conversor da usina de Ouro Preto (Con-OP). A variabilidade dos teores em função das diferentes fontes de Mn pode ser observada a partir dos teores médios entre as diferentes doses (Fig. 6).

No Quadro 1 são apresentados os valores referenciais para teores de metais em plantas e alimentos. Os teores de Mn determinados na parte aérea da soja (Fig. 7) encontram-se a baixo do valor de referência tido como excessivos em plantas. Embora os teores máximos observados para o eucalipto estejam levemente superiores, esta cultura, em condições normais pode apresentar elevadas concentrações de Mn (Barros e Novais, 1990). Esses teores também não preocupam, pelo que eucalipto não é utilizado na alimentação humana ou animal.

Cabe ressaltar que as concentrações mais elevadas foram observadas nas plantas submetidas a maior dose de Mn (60 kg ha<sup>-1</sup>), dose essa considerada muito acima das quantidades recomendadas para adubação, que se situam na faixa de 5 – 10 kg ha<sup>-1</sup> (Havlin et al., 1999).

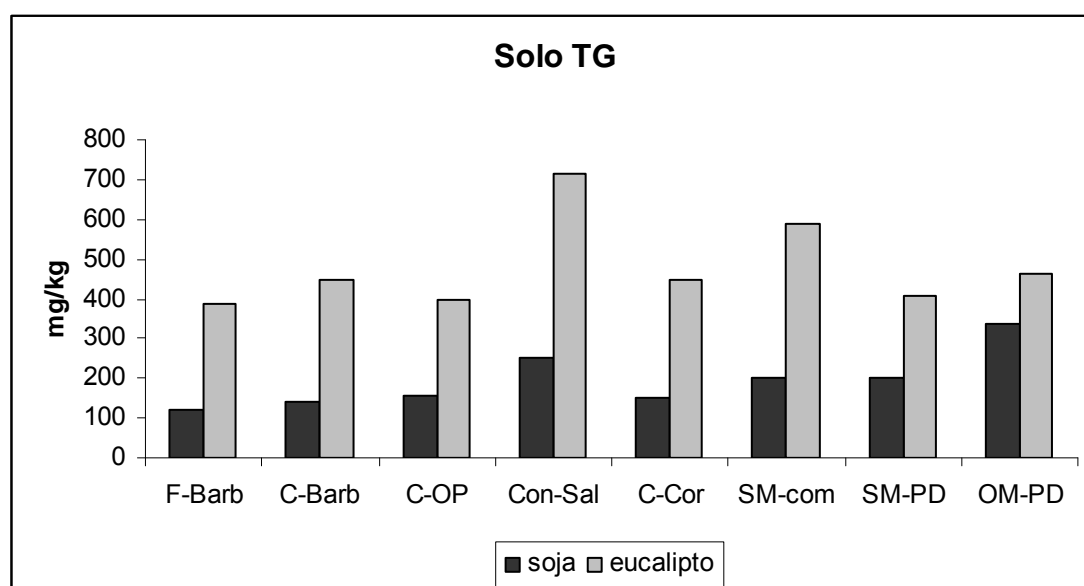
**Quadro 1.** Teores máximos de elementos traços e faixas de concentração tidas como adequadas em alimentos e plantas de soja e de eucalipto.

| Elemento                        | Teores em plantas <sup>1</sup> | Teores em alimentos | Soja | Eucalipto |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------|------|-----------|
| ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |                                |                     |      |           |
| As                              | -                              | 2                   | -    | -         |
| Hg                              | -                              | 0,5                 | -    | -         |
| Se                              | -                              | 5                   | -    | -         |
| Cd                              | -                              | 1-2                 | -    | -         |
| Pb                              | -                              | 2-7                 | -    | -         |
| Cr                              | -                              | 0,1                 | -    | -         |
| Ni                              | -                              | 5                   | -    | -         |
| Cu                              | -                              | 50                  | 10   | 10        |
| Zn                              | >130                           | -                   | 20   | 40-60     |
| Ni                              | >10                            | -                   | -    | -         |
| Mn                              | >600                           | -                   | 20   | 100-600   |
| Fe                              | >550                           | -                   | 50   | 150-200   |

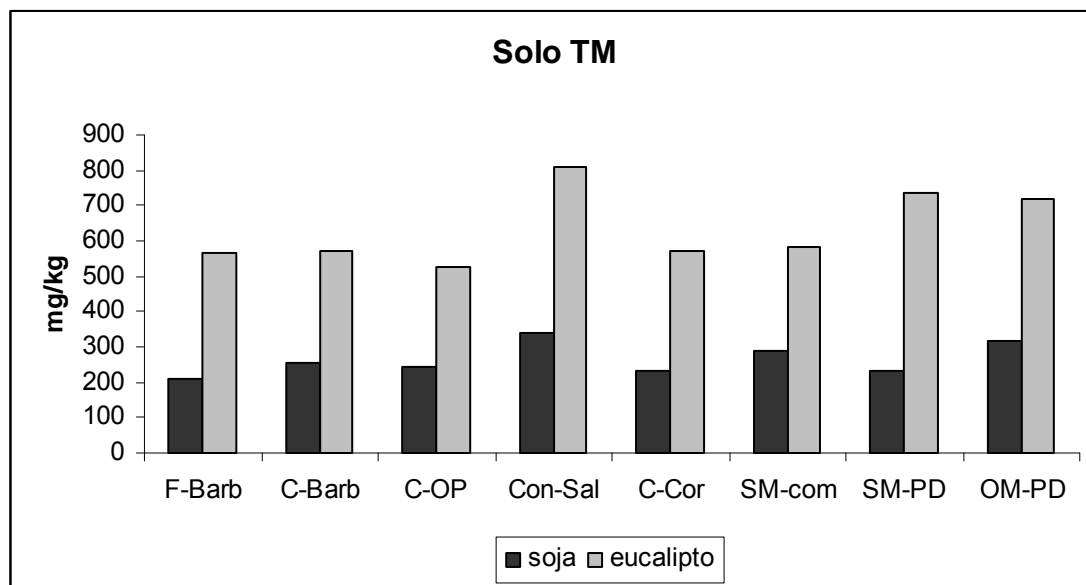
Fonte: Malavolta (1976), Havlin et al.(1999) e Rodella & Alcarde (2001).

A mesma tendência se observou para as plantas de eucalipto, no entanto, os teores são mais altos em virtude dessa espécie ser mais acumuladora Mn do que a soja (Figs. 6 e 7).

Os PDs disponibilizaram para as plantas de soja e eucalipto teores de Mn comparáveis com aqueles liberados pelo sal comercial (SM-com) e os fertilizantes preparados com os PD (SM-PD e OM-PD), indicando ser esses materiais passíveis de utilização como fontes de Mn para as plantas.



**Figura 6.** Teores de Mn (média das doses) na massa da matéria seca da parte aérea de plantas de soja e eucalipto cultivadas em casa de vegetação no solo TG em função dos diferentes materiais testados.

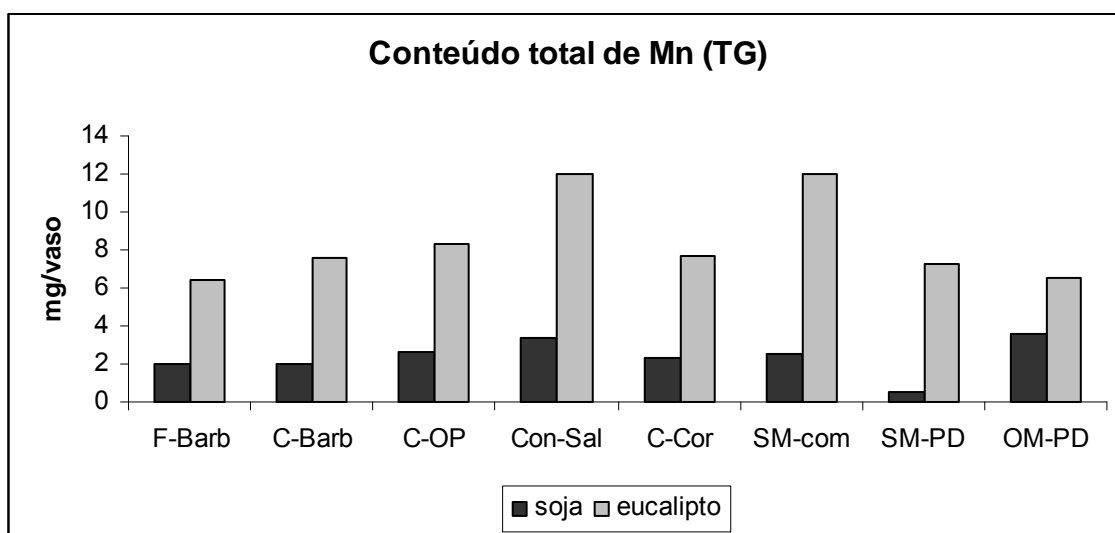


**Figura 7.** Teores de Mn (média das doses) na massa da matéria seca da parte aérea de plantas de soja e eucalipto cultivadas em casa de vegetação no solo TM em função dos diferentes materiais testados.

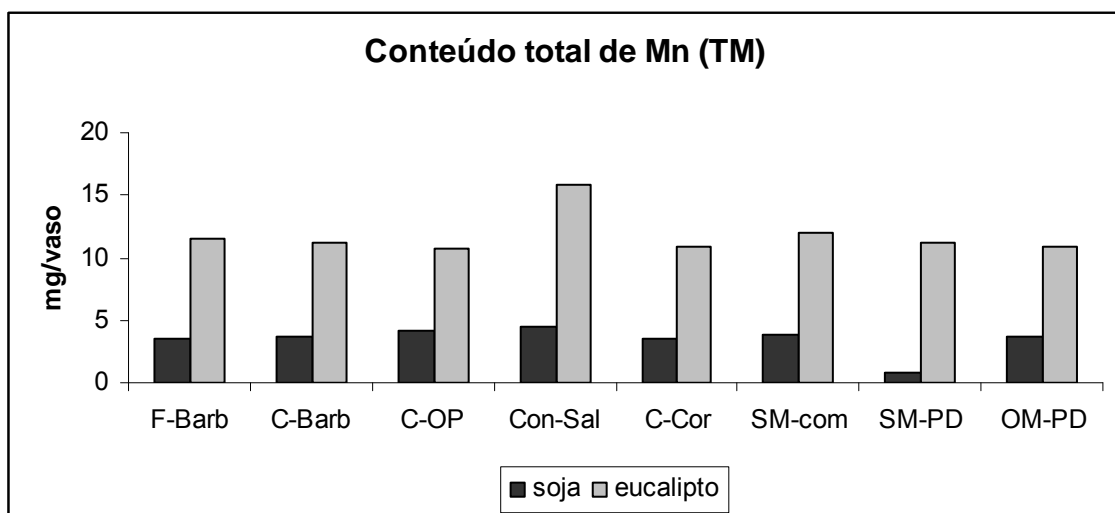
A quantidade total de Mn absorvida pelas plantas de soja em ambos os solos corrobora com os valores encontrados para as concentrações do elemento, com exceção da fonte SM-PD que, em razão de menor produção de biomassa por parte da planta, resultou em menores conteúdos (Figs. 8 e 9). O produto Con-Sal foi aquele que disponibilizou maiores quantidades de Mn para ambas as espécies testadas, independentemente do solo.

Entre os fertilizantes preparados com o PD, o óxido manganoso (OM-PD) mostrou-se superior ao sulfato de manganês (SM-PD) quanto ao fornecimento de Mn às plantas.

Considerando-se a concentração de Mn nas várias fontes (Tab. 2) e as respostas biológicas obtidas, os materiais *in natura* testados mostraram-se eficientes no fornecimento de Mn para as plantas.



**Figura 8.** Teores de Mn (média das doses) nas plantas de soja e eucalipto cultivados em casa de vegetação no solo TG em função dos diferentes materiais testados.



**Figura 9.** Teores de Mn (média das doses) nas plantas de soja e eucalipto cultivados em casa de vegetação no solo TM em função dos diferentes materiais testados.

Entre os metais que haviam sido identificados no procedimento de solubilização com concentração superior ao limite estabelecido (Anexo G, ABNT NBR 10004, 2004) o Fe foi aquele que apresentou concentrações mais elevadas nos tecidos das plantas de soja e de eucalipto. No entanto, as concentrações observadas estão na faixa de normalidade (Quadro 1). A mesma tendência foi verificada para os teores de Cu e Zn nos tecidos de ambas espécies.

O As foi outro elemento que causou certa preocupação na fase de caracterização química dos materiais (Capítulo I), no entanto, não foi detectada sua presença nos tecidos das plantas de soja e de eucalipto, quer seja no

sistema radicular como na parte aérea. Da mesma forma, não foi detectada a presença de Cd nos tecidos das plantas das duas espécies. Portanto esses elementos mesmo que encontrados nos PDs não representaram riscos para as plantas estudadas.

Ainda que se tenha detectado Cr e Ni nas raízes de soja, em geral, somente a parte aérea dessa espécie é utilizada na alimentação animal. Portanto, também esses dois metais, mesmo que presentes nos PDs, não representam riscos à saúde humana e animal. Essa afirmativa é verdadeira mesmo quando se utilizou a dose extrema de Mn testada neste estudo (30 mg dm<sup>3</sup> de Mn correspondente a 60 kg de Mn ha<sup>-1</sup>).

## 4. CONCLUSÕES

1. Os diferentes PD's in natura ou processados na forma de fertilizantes mostraram-se como boas fontes de Mn para o cultivo de plantas de soja e eucalipto em condições controladas em casa de vegetação. A eficiência desses materiais pode ser equiparada a de um sal comercial comumente utilizado como fertilizante;
2. O uso das diferentes fontes de Mn não resultou em acúmulos de metais nos tecidos das plantas de soja e de eucalipto acima de valores que possam representar qualquer risco ao desenvolvimento dessas, inclusive nas maiores doses testadas ( $30 \text{ mg dm}^3$  de Mn correspondente a  $60 \text{ kg de Mn ha}^{-1}$ );
3. Os resultados obtidos indicaram a viabilidade de utilização dos PD's como fonte de Mn para as espécies cultivadas, com a ressalva de que mais estudos são necessários no que diz respeito ao comportamento desses materiais, a médio e longo prazo, inclusive, em outros tipos de solos.
4. Outras características que conferem periculosidade a um resíduo sólido industrial, como, inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade não foram estudadas nessa pesquisa. Dessa forma, outros métodos analíticos são necessários à complementação da caracterização dos PD's, com a finalidade de estabelecer o seu verdadeiro potencial de risco à saúde humana e ao meio ambiente;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A. de; ABREU, M.F. de; RAIJ, B. VAN & SANTOS, W.R. Comparação de métodos de análise para avaliar a disponibilidade de metais pesados em solos. R. Bras. Ci. Solo, 19:463-468, 1995.
- ACCIOLY, A.M.A. Pó de forno de siderurgia como fonte de micronutrientes e seu efeito no solo e na planta. 1996. 70f. Dissertação Mestrado (Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras.
- ALLOWAY, B.J. Cadmium. In: ALLOWAY, B.J., ed. Heavy metals in soils. New York, John Wiley, 1990. p.100-121.
- ALLOWAY, B.J. The origins of heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B.J., ed. Heavy metals in soils. New York, John Wiley & Sons Inc., 1990. p.29-39.
- ALLOWAY, B.J. The origins of heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B.J., ed. Heavy metals in soils. Londres, Inglaterra: Blackie, 1995. p. 29-39.
- ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO JÚNIOR., E.S.; SOUZA, R.B.; FONSECA, C. A.. Métodos de análises de enxofre em solos e plantas. Viçosa, MG, Ed. UFV, p.38, 2001.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.. Interação de Metais Pesados de Resíduos Siderúrgicos com um Podzólico Vermelho-Amarelo. Viçosa, MG: UFV, 1993. 162 p. (Tese de Doutorado).
- AMARAL-SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; OLIVEIRA, C. Solubilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.21, n.1, p.9-16, 1997.
- ANDERSON, W.B.; PARKPIAN, P. Effect of soil applied iron by product on micronutrient concentration in sorghum cultivars. Journal of Plant Nutrition, Lexington, v.7, p.1333-1343, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NORMA BRASILEIRA – NBR. ABNT NBR 10004, 2004. Caracterização e classificação de resíduos sólidos. 71 p.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NORMA BRASILEIRA – NBR. ABNT NBR 10005, 2004. Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. 16 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NORMA BRASILEIRA – NBR. ABNT NBR 10006, 2004. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NORMA BRASILEIRA – NBR. ABNT NBR 10007, 2004. Amostragem de resíduos sólidos. 21 p.
- BARROS, N.F; NOVAIS, R.F. Relação solo-eucalipto. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. 330p.
- BLUM, W.E.H.; WENZEL, W.W. Monitoring of Environmental Impacts of Soils in Austria. In: MAPING OF SOIL AND TERRAIN VULNERABILITY TO SPECIFIED CHEMICAL COMPOUNDS IN EUROPE AT SCALE OF 1:5 M, 1991, Wageningen, Holanda. Anais... Wageningen, Holanda: 1991. p. 43-47.
- CHENG, B.T. & OUELLETTE, G.J. Manganese availability in soil. Soil and Fertilizers, Farnham Royal, 34:589-95,1971.
- CORRÊA, M.L.T. Utilização de Escória de Aciaria como Corretivo da Acidez de Solos para Cultivos de Soja e Cana-de-açúcar e Avaliação da Contaminação Ambiental. 2006. 165p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.
- DESAULES, A. The soil vulnerability mapping project for Europe (SOVEUR): Methodological considerations with reference to conditions in Switzerland. In: MAPING OF SOIL AND TERRAIN VULNERABILITY TO SPECIFIED CHEMICAL COMPOUNDS IN EUROPE AT SCALE OF 1:5 M, 1991, Wageningen, Holanda. Anais... Wageningen, Holanda: 1991. p. 23-29.
- EMBRAPA, Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- ELLIS, B.G.; KNEZEK, B.D.; JACOBS, L.W. The movement of micronutrients in soils. In: NELSON, D.W., ed. Chemical mobility and reactivity in soil system. Madison, Soil Science Society of America, 1983. p.109-22.

- FOY, C.D. Manganese and plants. In: Manganese: Washington, National Academy of Sciences, 1973. p.51-76.
- FOY, C.D. Differential aluminium and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.28, n.2, p.150-155, 1976.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, Lancaster, v.29, p. 511-566, 1978.
- FONTES, R.L.F. & RIBEIRO, A. C.. Resíduos Inorgânicos de Origem Industrial – Fontes Alternativas de Fertilizantes para a Agricultura. *Anais/XXVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo – Seção de Fertilidade do Solo*. CD. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Brasília, Brasil, 1999, 06 p.
- GEERING, H.R.; HODGSON, J.F.; SDANO, C. Micronutrient cation complexes in soil solution. IV. The chemical state of manganese in soil solution. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 33:81-5, 1969.
- GODO, G.H. & REISENAUER, H.M. Plant effects on soil manganese availability. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 44:993-5, 1980.
- GOMES, P.C., FONTES, M.P.F., DA SILVA, A.G., SÁ MENDONÇA, E., NETTO, A.R. Selectivity sequence and competitive adsorption of heavy metals by brazilian soils. *Journal of América Soil Science Society*, 65, 1115-1121, 2001.
- GUIDI, G.; PERA, A.; GIOVANNETTI, M.; POGGIO, G.; De bertoldi, m. Variations of soil structure and microbial population in a compost amended soil. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.106, p.113-119, 1988.
- HALSTEAD, E.H.; BARBER, S. A.; WARNCKE, D.D.; BOLE, J.B. Supply of Ca, Sr, Mn and Zn to plant roots growing in soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 32:69-72, 1968.
- HAQ, A.U. & MILLÁN, E. Evaluation of heavy metal lability in polluted soils by a cation exchange batch procedure. *Environ. Poll.*, 99:79-86, 1998.
- HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.M.; NELSON, W.L. *Soil Fertility and Fertilizers* (6<sup>a</sup>. Ed.) N.J. Prentice Hall, 1999.

- HAYNES, R.J. & SWIFT, R.S. An evaluation of the use of DTPA and EDTA as extractants for micronutrients in moderately acid soils. *Plant Soil*, 74:111-122, 1983.
- HEINTZE, S.G. & MANN, P.J.G. Soluble complexes of manganic manganese. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 37:23-6, 1947.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. Boca Raton: CRC, 1984. 315 p.
- KLIJN, F. Environmental Susceptibility to Chemicals from Processes to Patterns with Special Reference to Mapping Characteristics and Spatial Scales. In: *MAPING OF SOIL AND TERRAIN VULNERABILITY TO SPECIFIED CHEMICAL COMPOUNDS IN EUROPE AT SCALE OF 1:5 M*, 1991, Wageningen, Holanda. *Anais...* Wageningen, Holanda: 1991. p. 9-23.
- LANTMANN, A.F. & MEURER, E.J. Estudo da eficiência de extratores para avaliação do zinco disponível do solo para o milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 6:131-135, 1982.
- LINDSAY, W.L. Chemical reactions affecting the availability of micronutrients in soils. In: ANDREW, C.S. & KAMPRATH, E.J., ed. *Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils*. Melbourne, CSIRO, 1978. p.153-67.
- MAGALHÃES, J.R. *Diagnose de desordens nutricionais em hortaliças*. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1988. 64 p.
- MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo*. Ed. Agron. Ceres. 1976. 528 P.
- MALAVOLTA, E. *Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados: mitos, mistificação e fatos*. Piracicaba: ProduQuímica, 1994. 153 p.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic, 1995. 889 p.
- MATOS, A.T.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M.; MARTINEZ, J.A. Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão dos metais zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos do município de Viçosa-MG. II. Correlação com algumas propriedades físicas dos solos. In: *Congresso Brasileiro de Ciência*

- do Solo, 25., 1995, Viçosa. Anais... Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/UFV, 1995. p.2333-2336.
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractant. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 15:1409-1416, 1984.
- MEURER, E.J. *Fundamentos de Química do Solo*. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. 290 p.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J., (Org.). *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. 1.ed. Brasília, EMBRAPA, 1991. p.189-253.
- OLIVER, S. & BARBER, S.A. Mechanisms for the movement of Mn, Fe, B, Cu, Zn, Al and Sr from the soil to the surface of soybean roots. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 30:468-70, 1966.
- PETRUZZELLI, G.; LUBRANO, L.; GUIDI, G. Uptake by corn and chemical extractability of heavy metals from a four year compost treated soil. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.116, p.23-27, 1989.
- REDDY, M.R. & PERKINS, H.F. Fixation of manganese by clay minerals. *Soil Science*, Baltimore, 121:21-4, 1976.
- RODELLA, A.A. & ALCARDE, J.C. Legislação sobre micronutrientes e metais pesados. Pp. 555-576. In: Ferreira, M.E. et al. *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal.CNPq/FAPESP/Potafós, 2001.
- SEQUI, P.; VIANELLO, G; CIAVATTA, C. An Italian Approach to the Determination of Areas Vulnerable to Pollution. In: *MAPING OF SOIL AND TERRAIN VULNERABILITY TO SPECIFIED CHEMICAL COMPOUNDS IN EUROPE AT SCALE OF 1:5 M*, 1991, Wageningen, Holanda. *Anais... Wageningen, Holanda*: 1991. p. 91-97.
- SILVA, F.A.M. *Fracionamento e biodisponibilidade de metais para o feijoeiro em solos tratados com pó de forno de aciaria elétrica*. 1999. 80f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras.
- SILVA, J. *Avaliação do Potencial Agrônomo e de Contaminação Ambiental Decorrente do Uso de Uma Escória de Aciaria como Corretivo e Fertilizantes de Solos*. 2003. 134f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

- SILVIEIRA, D.J. & SOMMERS, L.E. Extractability of copper, zinc, cadmium, and lead in soils incubated with sewage sludge. *J. Environ. Qual.*, 6:47-52, 1977.
- SHUMAN, L.M. & ANDERSON, O.E. Evaluation of six extractants for their ability to predict manganese concentrations in wheat and soybeans. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.*, 38:788-790, 1974.
- SHUMAN, L.M. Effect of soil properties on manganese interaction isotherms for four soils. *Soil Science, Baltimore*, 124:77-81, 1977.
- STEVENSON, F.J., COLE, M.A. Micronutrients and toxic metals. In: STEVENSON, F.J., COLE, M.A. *Cycles of soil*. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. p. 371 – 414.

## APÊNDICE

**Quadro A1.** Análise de variância para matéria seca da parte aérea, raiz e total da soja e do eucalipto no solo TG.

| Fonte de Variação | G.L. | Quadrado Médio |    |       |    |        |    |             |    |       |       |        |    |
|-------------------|------|----------------|----|-------|----|--------|----|-------------|----|-------|-------|--------|----|
|                   |      | Soja           |    |       |    |        |    | Eucalipto   |    |       |       |        |    |
|                   |      | Parte aérea    |    | Raiz  |    | Total  |    | Parte aérea |    | Raiz  | Total |        |    |
| Dose (D)          | 3    | 9,058          | *  | 0,695 | ns | 10,869 | *  | 2,736       | ns | 1,549 | ns    | 6,261  | ns |
| Material (M)      | 6    | 24,868         | ** | 0,852 | ns | 32,700 | ** | 6,058       | ns | 7,237 | **    | 18,377 | ns |
| D*M               | 18   | 7,123          | ** | 0,727 | ns | 9,850  | ** | 12,467      | ns | 2,451 | **    | 23,426 | *  |
| Resíduo           | 56   | 2,695          |    | 0,749 |    | 3,918  |    | 8,410       |    | 0,975 |       | 12,275 |    |
| CV (%)            |      | 17,1           |    | 36,7  |    | 16,6   |    | 26,1        |    | 29,3  |       | 24,2   |    |

\*, \*\* - Significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade pelo teste de F, respectivamente. ns – Não significativo

**Quadro A2.** Análise de variância para matéria seca da parte aérea, raiz e total da soja e do eucalipto no solo de Três Marias (TM)

| Fonte de Variação | G.L. | Quadrado Médio |    |       |    |         |    |             |    |       |       |        |    |
|-------------------|------|----------------|----|-------|----|---------|----|-------------|----|-------|-------|--------|----|
|                   |      | Soja           |    |       |    |         |    | Eucalipto   |    |       |       |        |    |
|                   |      | Parte aérea    |    | Raiz  |    | Total   |    | Parte aérea |    | Raiz  | Total |        |    |
| Dose (D)          | 3    | 2,715          | ns | 0,506 | ns | 3,290   | ns | 45,104      | ** | 2,855 | ns    | 61,561 | *  |
| Material (M)      | 6    | 228,205        | ** | 4,411 | ** | 285,327 | ** | 57,087      | ** | 7,667 | **    | 96,810 | ** |
| D*M               | 18   | 14,597         | ** | 4,567 | *  | 21,614  | ** | 32,309      | ** | 3,859 | *     | 54,102 | ** |
| Resíduo           | 56   | 5,255          |    | 0,731 |    | 7,511   |    | 9,689       |    | 2,106 |       | 16,814 |    |
| CV (%)            |      | 20,1           |    | 46,1  |    | 20,7    |    | 23,7        |    | 39,2  |       | 24,4   |    |

\*, \*\* - Significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade pelo teste de F, respectivamente. ns – Não significativo.

**Quadro A3.** Matéria seca da Parte aérea (PA), Raiz (RA) e total de plantas de soja e eucalipto cultivadas em casa de vegetação no solo TG em função de diferentes doses dos materiais testados.

| Material | Dose                      | Soja                    |      |       | Eucalipto |      |       |
|----------|---------------------------|-------------------------|------|-------|-----------|------|-------|
|          |                           | PA                      | RA   | Total | PA        | RA   | Total |
|          | <b>mg dm<sup>-3</sup></b> | <b>-----g/vaso-----</b> |      |       |           |      |       |
| F-Barb   | 0,0                       | 8,77                    | 2,46 | 11,23 | 9,73      | 2,55 | 12,28 |
|          | 2,5                       | 9,70                    | 2,37 | 12,07 | 8,97      | 2,23 | 11,20 |
|          | 5,0                       | 9,85                    | 2,84 | 12,69 | 11,41     | 3,01 | 14,42 |
|          | 7,5                       | 7,94                    | 2,41 | 10,35 | 11,90     | 3,40 | 15,30 |
|          | 30,0                      | 10,82                   | 2,76 | 13,58 | 12,67     | 4,01 | 16,68 |
| C-Barb   | 0,0                       | 10,77                   | 3,51 | 14,28 | 8,04      | 2,44 | 10,48 |
|          | 2,5                       | 10,97                   | 2,78 | 13,75 | 10,17     | 5,27 | 15,44 |
|          | 5,0                       | 11,53                   | 2,02 | 13,55 | 8,93      | 3,78 | 12,71 |
|          | 7,5                       | 10,07                   | 2,40 | 12,46 | 13,14     | 3,79 | 16,93 |
|          | 30,0                      | 12,75                   | 3,24 | 15,99 | 11,21     | 3,84 | 15,05 |
| C-OP     | 0,0                       | 9,80                    | 2,98 | 12,77 | 12,75     | 3,76 | 16,50 |
|          | 2,5                       | 11,14                   | 2,38 | 13,52 | 13,07     | 4,12 | 17,19 |
|          | 5,0                       | 11,72                   | 1,79 | 13,51 | 11,58     | 2,86 | 14,44 |
|          | 7,5                       | 11,01                   | 3,20 | 14,21 | 10,60     | 2,85 | 13,45 |
|          | 30,0                      | 12,68                   | 3,07 | 15,75 | 13,06     | 3,33 | 16,40 |
| Con-Sal  | 0,0                       | 10,85                   | 2,85 | 13,70 | 8,13      | 1,56 | 9,69  |
|          | 2,5                       | 15,03                   | 2,53 | 17,56 | 12,66     | 4,13 | 16,79 |
|          | 5,0                       | 9,64                    | 2,14 | 11,77 | 12,20     | 4,22 | 16,41 |
|          | 7,5                       | 7,61                    | 1,52 | 9,14  | 12,11     | 3,14 | 15,25 |
|          | 30,0                      | 11,53                   | 2,31 | 13,84 | 9,05      | 2,19 | 11,24 |
| C-Cor    | 0,0                       | 8,45                    | 1,65 | 10,10 | 8,32      | 1,75 | 10,07 |
|          | 2,5                       | 8,81                    | 2,14 | 10,95 | 12,60     | 3,09 | 15,69 |
|          | 5,0                       | 8,92                    | 2,38 | 11,30 | 12,17     | 3,20 | 15,37 |
|          | 7,5                       | 10,19                   | 2,30 | 12,48 | 11,15     | 2,28 | 13,43 |
|          | 30,0                      | 6,86                    | 1,70 | 8,56  | 12,97     | 5,20 | 18,17 |
| SM-com   | 0,0                       | 10,84                   | 2,81 | 13,65 | 11,87     | 3,45 | 15,32 |
|          | 2,5                       | 8,70                    | 1,82 | 10,51 | 12,20     | 2,89 | 15,09 |
|          | 5,0                       | 10,13                   | 2,52 | 12,65 | 9,52      | 2,23 | 11,75 |
|          | 7,5                       | 8,27                    | 2,40 | 10,67 | 10,13     | 3,00 | 13,13 |
|          | 30,0                      | 9,94                    | 1,48 | 11,41 | 14,70     | 3,99 | 18,69 |
| SM-PD    | 0,0                       | 7,29                    | 1,91 | 9,20  | 15,76     | 6,36 | 22,12 |
|          | 2,5                       | 8,93                    | 2,59 | 11,52 | 9,02      | 4,60 | 13,62 |
|          | 5,0                       | 4,34                    | 1,49 | 5,83  | 11,49     | 3,81 | 15,30 |
|          | 7,5                       | 7,10                    | 1,75 | 8,85  | 11,56     | 4,67 | 16,23 |
|          | 30,0                      | 8,32                    | 2,30 | 10,62 | 14,41     | 3,87 | 18,28 |
| OM-PD    | 2,5                       | 11,24                   | 2,07 | 13,31 | 13,04     | 3,71 | 16,75 |
|          | 30,0                      | 10,73                   | 1,97 | 12,70 | 14,37     | 2,99 | 17,37 |

**Quadro A4.** Matéria seca da Parte aérea (PA), Raiz (RA) e total de plantas de soja e eucalipto cultivadas em casa de vegetação no solo TM em função de diferentes doses dos materiais testados.

| Material | Dose               | Soja             |      |       | Eucalipto |      |       |
|----------|--------------------|------------------|------|-------|-----------|------|-------|
|          |                    | PA               | RA   | Total | PA        | RA   | Total |
|          | mg/dm <sup>3</sup> | -----g/vaso----- |      |       |           |      |       |
| F-Barb   | 0,0                | 16,66            | 3,67 | 20,33 | 9,84      | 2,13 | 11,97 |
|          | 2,5                | 9,96             | 1,45 | 11,40 | 14,14     | 3,72 | 17,86 |
|          | 5,0                | 11,38            | 2,05 | 13,43 | 7,38      | 1,58 | 8,96  |
|          | 7,5                | 14,35            | 2,62 | 16,97 | 14,83     | 3,55 | 18,38 |
|          | 30,0               | 19,24            | 2,56 | 21,79 | 15,87     | 3,85 | 19,72 |
| C-Barb   | 0,0                | 13,18            | 1,46 | 14,64 | 14,28     | 2,87 | 17,15 |
|          | 2,5                | 17,14            | 2,25 | 19,39 | 13,71     | 3,26 | 16,96 |
|          | 5,0                | 9,98             | 2,11 | 12,09 | 18,63     | 5,07 | 23,70 |
|          | 7,5                | 10,44            | 1,48 | 11,93 | 11,53     | 2,53 | 14,06 |
|          | 30,0               | 12,32            | 1,88 | 14,19 | 10,88     | 3,02 | 13,90 |
| C-OP     | 0,0                | 13,95            | 2,34 | 16,29 | 16,71     | 4,40 | 21,12 |
|          | 2,5                | 16,22            | 3,20 | 19,42 | 17,68     | 4,69 | 22,36 |
|          | 5,0                | 16,17            | 2,27 | 18,44 | 16,52     | 4,81 | 21,34 |
|          | 7,5                | 13,29            | 2,67 | 15,96 | 13,46     | 4,08 | 17,54 |
|          | 30,0               | 16,28            | 2,19 | 18,47 | 10,28     | 7,01 | 17,29 |
| Con-Sal  | 0,0                | 14,08            | 2,47 | 16,55 | 11,66     | 4,61 | 16,27 |
|          | 2,5                | 10,35            | 1,87 | 12,22 | 12,52     | 2,56 | 15,09 |
|          | 5,0                | 11,36            | 2,64 | 14,00 | 14,78     | 4,77 | 19,55 |
|          | 7,5                | 12,28            | 0,80 | 13,09 | 12,70     | 3,54 | 16,24 |
|          | 30,0               | 12,53            | 2,25 | 14,78 | 9,93      | 2,55 | 12,48 |
| C-Cor    | 0,0                | 13,86            | 1,53 | 15,39 | 11,33     | 4,17 | 15,51 |
|          | 2,5                | 14,03            | 0,85 | 14,88 | 18,10     | 4,44 | 22,54 |
|          | 5,0                | 15,54            | 2,76 | 18,30 | 10,84     | 2,44 | 13,28 |
|          | 7,5                | 14,79            | 1,87 | 16,66 | 10,43     | 2,62 | 13,05 |
|          | 30,0               | 11,62            | 1,98 | 13,60 | 15,38     | 4,52 | 19,90 |
| SM-com   | 0,0                | 9,02             | 0,57 | 9,59  | 17,87     | 5,71 | 23,57 |
|          | 2,5                | 9,77             | 1,11 | 10,88 | 13,54     | 3,92 | 17,46 |
|          | 5,0                | 13,73            | 2,12 | 15,86 | 17,67     | 6,30 | 23,97 |
|          | 7,5                | 9,33             | 1,65 | 10,98 | 9,40      | 3,94 | 13,34 |
|          | 30,0               | 15,77            | 1,49 | 17,26 | 15,54     | 4,49 | 20,03 |
| SM-PD    | 0,0                | 2,14             | 0,52 | 2,65  | 7,97      | 4,32 | 12,29 |
|          | 2,5                | 2,24             | 0,99 | 3,23  | 16,35     | 4,37 | 20,72 |
|          | 5,0                | 1,89             | 0,35 | 2,24  | 4,80      | 1,28 | 6,08  |
|          | 7,5                | 2,23             | 1,54 | 3,77  | 9,09      | 1,98 | 11,07 |
|          | 30,0               | 3,50             | 1,34 | 4,85  | 9,40      | 2,24 | 11,64 |
| OM-PD    | 2,5                | 10,55            | 1,63 | 12,18 | 11,32     | 2,33 | 13,64 |
|          | 30,0               | 9,05             | 1,42 | 10,47 | 11,22     | 2,11 | 13,33 |

**Quadro A5.** Teores de P, Mn, Cu, Zn e Fe na parte aérea de plantas de soja cultivadas no solo TG em função de diferentes doses e fontes de Mn.

| Material | Dose                | P                   | Mn     | Cu    | Zn    | Fe       |
|----------|---------------------|---------------------|--------|-------|-------|----------|
|          |                     | mg kg <sup>-1</sup> |        |       |       |          |
|          | mg dm <sup>-3</sup> |                     |        |       |       |          |
| F-Barb   | 0,0                 | 999,62              | 92,76  | 5,24  | 20,31 | 244,91   |
|          | 2,5                 | 1082,05             | 105,15 | 6,97  | 16,18 | 391,80   |
|          | 5,0                 | 932,11              | 92,85  | 1,71  | 15,65 | 104,13   |
|          | 7,5                 | 1024,35             | 104,67 | 7,56  | 13,52 | 194,32   |
|          | 30,0                | 993,92              | 212,74 | 4,99  | 17,28 | 95,18    |
| C-Barb   | 0,0                 | 971,81              | 83,38  | 6,65  | 17,02 | 221,41   |
|          | 2,5                 | 987,64              | 105,08 | 0,35  | 14,54 | 183,34   |
|          | 5,0                 | 835,56              | 103,33 | 1,23  | 15,45 | 103,92   |
|          | 7,5                 | 922,56              | 128,79 | 1,12  | 14,95 | 98,69    |
|          | 30,0                | 994,42              | 279,19 | 0,10  | 16,05 | 277,27   |
| C-OP     | 0,0                 | 1024,95             | 89,31  | 3,85  | 18,92 | 148,25   |
|          | 2,5                 | 1027,96             | 113,66 | 4,69  | 21,13 | 309,42   |
|          | 5,0                 | 1193,70             | 143,14 | 15,71 | 20,10 | 202,03   |
|          | 7,5                 | 1071,72             | 155,99 | 4,47  | 20,81 | 190,37   |
|          | 30,0                | 1045,16             | 286,14 | 3,59  | 19,56 | 170,21   |
| Con-Sal  | 0,0                 | 1114,49             | 110,74 | 11,32 | 17,52 | 153,31   |
|          | 2,5                 | 999,92              | 143,03 | 5,88  | 16,15 | 338,08   |
|          | 5,0                 | 1003,00             | 158,44 | 0,35  | 19,23 | 567,88   |
|          | 7,5                 | 1069,84             | 258,69 | 8,72  | 17,56 | 311,76   |
|          | 30,0                | 1110,55             | 585,92 | 12,17 | 18,07 | 506,37   |
| C-Cor    | 0,0                 | 1008,41             | 82,96  | 5,51  | 16,92 | 124,12   |
|          | 2,5                 | 1243,02             | 146,56 | 12,88 | 20,49 | 1.470,45 |
|          | 5,0                 | 1011,54             | 100,37 | 14,04 | 16,75 | 166,89   |
|          | 7,5                 | 1166,83             | 143,31 | 6,09  | 14,44 | 249,11   |
|          | 30,0                | 1189,41             | 286,70 | 11,27 | 19,17 | 261,28   |
| SM-com   | 0,0                 | 1072,90             | 80,75  | 0,76  | 20,82 | 258,53   |
|          | 2,5                 | 1074,54             | 120,39 | 0,40  | 16,14 | 209,21   |
|          | 5,0                 | 1073,80             | 140,14 | 8,34  | 18,55 | 265,27   |
|          | 7,5                 | 1239,16             | 209,44 | 8,75  | 20,60 | 266,18   |
|          | 30,0                | 1218,78             | 458,82 | 5,19  | 20,21 | 298,80   |
| SM-PD    | 0,0                 | 1108,97             | 71,82  | 0,12  | 13,83 | 115,83   |
|          | 2,5                 | 1240,97             | 103,67 | 9,31  | 15,78 | 165,92   |
|          | 5,0                 | 1340,22             | 136,23 | 6,32  | 15,73 | 170,77   |
|          | 7,5                 | 1380,23             | 159,19 | 2,62  | 13,88 | 144,49   |
|          | 30,0                | 1332,88             | 531,19 | 0,90  | 15,23 | 182,59   |
| OM-PD    | 2,5                 | 2041,98             | 156,27 | 0,73  | 19,30 | 390,45   |
|          | 30,0                | 2417,63             | 519,18 | 0,49  | 22,26 | 127,23   |

**Quadro A6.** Teores de P, Mn, Cu, Zn e Fe na parte aérea de plantas de soja cultivadas no solo TM em função de diferentes doses e fontes de Mn.

| Material | Dose<br>mg dm <sup>-3</sup> | P                               | Mn     | Cu    | Zn    | Fe     |
|----------|-----------------------------|---------------------------------|--------|-------|-------|--------|
|          |                             | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |        |       |       |        |
| F-Barb   | 0,0                         | 2412,22                         | 133,76 | 0,75  | 24,21 | 144,91 |
|          | 2,5                         | 2696,79                         | 167,77 | 2,71  | 36,90 | 113,98 |
|          | 5,0                         | 2722,33                         | 198,47 | 2,57  | 26,20 | 136,09 |
|          | 7,5                         | 2641,30                         | 222,15 | 3,09  | 28,43 | 133,41 |
|          | 30,0                        | 2255,57                         | 330,10 | 13,87 | 25,45 | 239,54 |
| C-Barb   | 0,0                         | 2689,14                         | 165,25 | 1,11  | 34,70 | 159,72 |
|          | 2,5                         | 2203,58                         | 134,28 | 2,31  | 18,70 | 82,97  |
|          | 5,0                         | 2570,97                         | 209,48 | 12,07 | 34,46 | 144,10 |
|          | 7,5                         | 2579,10                         | 243,98 | 12,96 | 32,14 | 315,84 |
|          | 30,0                        | 3034,02                         | 516,28 | 0,32  | 34,47 | 187,03 |
| C-OP     | 0,0                         | 2579,83                         | 148,78 | 1,98  | 25,64 | 123,17 |
|          | 2,5                         | 2846,44                         | 195,39 | 5,93  | 27,92 | 318,04 |
|          | 5,0                         | 2685,34                         | 197,83 | 10,11 | 31,91 | 153,31 |
|          | 7,5                         | 2886,45                         | 216,94 | 3,94  | 26,60 | 125,97 |
|          | 30,0                        | 2858,51                         | 465,24 | 4,30  | 28,02 | 164,91 |
| Con-Sal  | 0,0                         | 2505,34                         | 131,87 | 3,01  | 17,61 | 117,69 |
|          | 2,5                         | 2750,58                         | 213,75 | 0,07  | 31,86 | 155,58 |
|          | 5,0                         | 1939,54                         | 208,01 | 0,35  | 18,58 | 115,98 |
|          | 7,5                         | 2915,43                         | 307,18 | 5,14  | 33,82 | 205,39 |
|          | 30,0                        | 2591,65                         | 825,41 | 0,88  | 22,75 | 114,29 |
| C-Cor    | 0,0                         | 2644,15                         | 154,13 | 6,63  | 30,30 | 147,16 |
|          | 2,5                         | 2684,82                         | 204,25 | 14,75 | 41,66 | 563,57 |
|          | 5,0                         | 2608,93                         | 193,05 | 1,52  | 26,34 | 158,71 |
|          | 7,5                         | 2718,07                         | 243,89 | 0,00  | 23,72 | 144,16 |
|          | 30,0                        | 2616,15                         | 360,01 | 1,49  | 20,29 | 136,58 |
| SM-com   | 0,0                         | 3032,33                         | 171,59 | 4,48  | 30,80 | 154,78 |
|          | 2,5                         | 2516,09                         | 216,41 | 4,75  | 35,65 | 145,89 |
|          | 5,0                         | 2475,21                         | 214,33 | 0,38  | 25,31 | 144,77 |
|          | 7,5                         | 2628,70                         | 291,25 | 4,02  | 35,24 | 120,16 |
|          | 30,0                        | 2304,99                         | 536,75 | 0,31  | 36,20 | 109,68 |
| SM-PD    | 0,0                         | 1090,76                         | 67,69  | 19,60 | 42,48 | 92,61  |
|          | 2,5                         | 1617,88                         | 167,84 | 4,99  | 27,43 | 197,44 |
|          | 5,0                         | 1919,66                         | 196,03 | 10,77 | 34,02 | 385,09 |
|          | 7,5                         | 2022,41                         | 236,08 | 1,52  | 32,43 | 147,77 |
|          | 30,0                        | 1964,71                         | 502,98 | 0,35  | 16,91 | 116,42 |
| OM-PD    | 2,5                         | 2072,74                         | 115,41 | 4,41  | 14,14 | 85,11  |
|          | 30,0                        | 2727,87                         | 522,46 | 19,78 | 24,43 | 283,36 |

**Quadro A7.** Teores de P, Mn, Cu, Zn e Fe na parte aérea de plantas de eucalipto cultivadas no solo TG em função de diferentes doses e fontes de Mn.

| Material | Dose                | P        | mg kg <sup>-1</sup> |       |       |        |
|----------|---------------------|----------|---------------------|-------|-------|--------|
|          |                     |          | Mn                  | Cu    | Zn    | Fe     |
|          | mg dm <sup>-3</sup> |          |                     |       |       |        |
| F-Barb   | 0,0                 | 1.967,21 | 215,52              | 8,94  | 19,56 | 91,18  |
|          | 2,5                 | 1.904,58 | 352,48              | 10,64 | 19,33 | 90,25  |
|          | 5,0                 | 1.704,66 | 353,84              | 9,75  | 18,01 | 84,32  |
|          | 7,5                 | 1.859,13 | 404,49              | 8,64  | 20,20 | 84,39  |
|          | 30,0                | 1.742,47 | 608,83              | 8,86  | 22,10 | 88,62  |
| C-Barb   | 0,0                 | 2.196,71 | 342,85              | 14,37 | 24,21 | 118,27 |
|          | 2,5                 | 1.635,46 | 263,27              | 8,31  | 16,32 | 80,29  |
|          | 5,0                 | 2.372,07 | 428,71              | 10,74 | 25,46 | 201,53 |
|          | 7,5                 | 1.681,61 | 369,46              | 8,88  | 20,44 | 67,55  |
|          | 30,0                | 1.827,36 | 832,52              | 17,29 | 19,63 | 85,53  |
| C-OP     | 0,0                 | 1.673,36 | 232,56              | 13,25 | 18,33 | 74,02  |
|          | 2,5                 | 1.617,01 | 258,48              | 8,03  | 14,51 | 74,16  |
|          | 5,0                 | 1.648,68 | 305,28              | 8,77  | 19,73 | 70,94  |
|          | 7,5                 | 1.939,52 | 427,52              | 9,84  | 20,36 | 102,34 |
|          | 30,0                | 1.855,24 | 752,75              | 10,16 | 20,14 | 104,69 |
| Con-Sal  | 0,0                 | 2.316,87 | 337,76              | 12,56 | 24,78 | 102,24 |
|          | 2,5                 | 1.822,99 | 430,51              | 9,98  | 20,74 | 108,01 |
|          | 5,0                 | 1.826,05 | 567,71              | 9,41  | 21,28 | 117,27 |
|          | 7,5                 | 1.826,59 | 734,02              | 10,11 | 19,72 | 78,35  |
|          | 30,0                | 2.097,15 | 1508,51             | 11,04 | 25,26 | 84,23  |
| C-Cor    | 0,0                 | 2.138,07 | 297,38              | 11,25 | 23,35 | 134,62 |
|          | 2,5                 | 1.838,96 | 310,10              | 9,53  | 17,75 | 94,25  |
|          | 5,0                 | 2.164,48 | 394,82              | 11,47 | 19,97 | 101,82 |
|          | 7,5                 | 1.975,08 | 397,12              | 8,55  | 21,83 | 179,24 |
|          | 30,0                | 2.075,55 | 846,84              | 9,64  | 19,63 | 130,20 |
| SM-com   | 0,0                 | 1.925,39 | 225,68              | 9,20  | 21,74 | 86,14  |
|          | 2,5                 | 1.841,35 | 378,79              | 9,51  | 19,19 | 93,60  |
|          | 5,0                 | 1.909,72 | 546,78              | 9,90  | 21,88 | 85,26  |
|          | 7,5                 | 2.048,59 | 626,50              | 9,99  | 22,87 | 150,67 |
|          | 30,0                | 1.634,98 | 1164,83             | 7,60  | 18,84 | 103,07 |
| SM-PD    | 0,0                 | 1.755,91 | 151,79              | 6,47  | 16,23 | 86,38  |
|          | 2,5                 | 1.824,25 | 351,44              | 8,24  | 21,57 | 123,07 |
|          | 5,0                 | 1.387,36 | 234,79              | 5,35  | 13,70 | 56,41  |
|          | 7,5                 | 1.985,90 | 446,00              | 8,58  | 20,86 | 86,90  |
|          | 30,0                | 1.731,87 | 860,42              | 7,50  | 15,37 | 66,95  |
| OM-PD    | 2,5                 | 1.828,33 | 278,46              | 6,27  | 16,58 | 88,66  |
|          | 30,0                | 2.125,10 | 642,43              | 7,52  | 20,18 | 100,85 |

**Quadro A8.** Teores de P, Mn, Cu, Zn e Fe na parte aérea de plantas de eucalipto cultivadas no solo TM em função de diferentes doses e fontes de Mn.

| Material | Dose | P Mn Cu Zn Fe       |          |                     |       |        |
|----------|------|---------------------|----------|---------------------|-------|--------|
|          |      | mg dm <sup>-3</sup> |          | mg kg <sup>-1</sup> |       |        |
| F-Barb   | 0,0  | 2.614,12            | 410,16   | 3,06                | 47,29 | 116,42 |
|          | 2,5  | 1.939,99            | 380,54   | 1,43                | 27,79 | 91,95  |
|          | 5,0  | 3.144,56            | 594,24   | 12,45               | 53,48 | 112,41 |
|          | 7,5  | 2.740,64            | 615,34   | 3,42                | 40,72 | 111,76 |
|          | 30,0 | 2.124,64            | 825,67   | 2,22                | 31,76 | 88,82  |
| C-Barb   | 0,0  | 2.113,32            | 311,42   | 1,35                | 33,50 | 103,58 |
|          | 2,5  | 2.877,00            | 446,44   | 2,37                | 37,15 | 142,46 |
|          | 5,0  | 2.620,42            | 464,07   | 2,46                | 29,09 | 111,80 |
|          | 7,5  | 2.488,33            | 503,67   | 2,01                | 43,24 | 130,38 |
|          | 30,0 | 3.611,67            | 1147,01  | 4,26                | 47,03 | 107,73 |
| C-OP     | 0,0  | 2.132,50            | 341,98   | 2,26                | 33,35 | 125,99 |
|          | 2,5  | 2.599,81            | 408,87   | 2,17                | 33,11 | 108,80 |
|          | 5,0  | 2.402,60            | 494,34   | 1,74                | 34,05 | 138,45 |
|          | 7,5  | 2.188,38            | 520,00   | 26,75               | 30,46 | 116,44 |
|          | 30,0 | 2.273,04            | 877,18   | 5,85                | 32,85 | 156,38 |
| Con-Sal  | 0,0  | 2.430,38            | 393,03   | 9,10                | 38,33 | 109,89 |
|          | 2,5  | 2.320,14            | 501,48   | 3,53                | 35,40 | 126,01 |
|          | 5,0  | 2.158,67            | 714,10   | 1,38                | 32,19 | 105,62 |
|          | 7,5  | 2.644,47            | 815,11   | 1,94                | 39,18 | 113,62 |
|          | 30,0 | 2.939,89            | 1634,91  | 2,83                | 44,48 | 91,11  |
| C-Cor    | 0,0  | 2.755,69            | 354,86   | 1,64                | 30,58 | 111,55 |
|          | 2,5  | 2.072,02            | 389,35   | 2,24                | 30,49 | 112,52 |
|          | 5,0  | 2.736,64            | 513,11   | 2,57                | 39,51 | 104,66 |
|          | 7,5  | 2.960,66            | 563,46   | 2,65                | 37,96 | 96,28  |
|          | 30,0 | 2.572,86            | 1037,77  | 1,79                | 33,93 | 113,06 |
| SM-com   | 0,0  | 2.240,69            | 398,06   | 1,42                | 28,85 | 121,90 |
|          | 2,5  | 2.600,69            | 813,68   | 1,91                | 34,88 | 106,70 |
|          | 5,0  | 2.527,85            | 532,32   | 1,84                | 31,15 | 108,28 |
|          | 7,5  | 2.565,97            | 420,08   | 2,72                | 41,00 | 294,18 |
|          | 30,0 | 2.003,05            | 763,24   | 1,08                | 24,71 | 92,89  |
| SM-PD    | 0,0  | 2.295,24            | 366,43   | 1,94                | 36,27 | 144,80 |
|          | 2,5  | 2.117,48            | 384,61   | 1,21                | 30,10 | 130,29 |
|          | 5,0  | 3.467,38            | 862,84   | 5,99                | 65,89 | 265,81 |
|          | 7,5  | 3.404,72            | 676,01   | 4,07                | 47,84 | 126,76 |
|          | 30,0 | 2.974,14            | 1.388,26 | 3,40                | 45,95 | 132,87 |
| OM-PD    | 2,5  | 3.795,48            | 583,30   | 3,46                | 45,78 | 154,66 |
|          | 30,0 | 2.005,75            | 857,99   | 1,98                | 30,35 | 104,72 |

**Quadro A9.** Teores de Mn, Cu, Zn, Fe, Cr, Ni e As no sistema radicular de plantas de soja cultivadas no solo TG em função de diferentes doses e fontes de Mn.

| Material | Dose                | Mn                              | Cu    | Zn    | Fe        | Cr    | Ni   | As  |  |
|----------|---------------------|---------------------------------|-------|-------|-----------|-------|------|-----|--|
|          | mg dm <sup>-3</sup> | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |       |       |           |       |      |     |  |
| F-Barb   | 0,0                 | 56,46                           | 11,33 | 67,62 | 13.228,56 | 15,22 | 3,15 | VII |  |
|          | 2,5                 | 75,24                           | 14,07 | 61,60 | 17.318,40 | 23,11 | 4,34 | VII |  |
|          | 5,0                 | 90,10                           | 36,02 | 57,99 | 20.990,83 | 24,34 | 6,75 | VII |  |
|          | 7,5                 | 100,18                          | 16,41 | 45,44 | 22.821,35 | 29,92 | 6,43 | VII |  |
|          | 30,0                | 148,26                          | 15,27 | 60,21 | 19.860,79 | 32,44 | 6,81 | VII |  |
| C-Barb   | 0,0                 | 68,80                           | 17,24 | 73,57 | 14.174,22 | 13,27 | 4,72 | VII |  |
|          | 2,5                 | 79,40                           | 11,98 | 57,75 | 12.356,12 | 7,63  | 5,00 | VII |  |
|          | 5,0                 | 79,89                           | 11,92 | 56,84 | 8.621,78  | 9,22  | 2,26 | VII |  |
|          | 7,5                 | 100,39                          | 13,62 | 53,86 | 12.036,10 | 9,34  | 5,05 | VII |  |
|          | 30,0                | 185,14                          | 10,76 | 54,98 | 9.939,85  | 11,38 | 2,51 | VII |  |
| C-OP     | 0,0                 | 63,62                           | 10,31 | 52,65 | 9.503,23  | 10,89 | 2,79 | VII |  |
|          | 2,5                 | 80,03                           | 12,56 | 81,11 | 10.625,47 | 8,40  | 3,59 | VII |  |
|          | 5,0                 | 81,69                           | 9,85  | 53,80 | 13.612,25 | 11,51 | 3,52 | VII |  |
|          | 7,5                 | 101,53                          | 13,91 | 59,03 | 15.854,67 | 27,76 | 6,09 | VII |  |
|          | 30,0                | 166,37                          | 13,59 | 57,54 | 21.010,11 | 19,04 | 8,46 | VII |  |
| Con-Sal  | 0,0                 | 63,55                           | 13,64 | 50,75 | 16.514,31 | 22,74 | 4,89 | VII |  |
|          | 2,5                 | 95,42                           | 13,23 | 58,98 | 20.539,88 | 31,33 | 8,56 | VII |  |
|          | 5,0                 | 110,02                          | 15,98 | 66,07 | 15.723,36 | 19,11 | 4,37 | VII |  |
|          | 7,5                 | 153,30                          | 10,93 | 51,98 | 10.833,01 | 12,20 | 3,11 | VII |  |
|          | 30,0                | 302,78                          | 10,81 | 46,86 | 19.102,18 | 27,26 | 4,77 | VII |  |
| C-Cor    | 0,0                 | 52,83                           | 9,23  | 51,38 | 10.642,03 | 12,56 | 3,29 | VII |  |
|          | 2,5                 | 58,29                           | 8,82  | 54,05 | 8.841,97  | 8,06  | 4,85 | VII |  |
|          | 5,0                 | 77,30                           | 14,68 | 62,90 | 16.495,50 | 19,11 | 5,73 | VII |  |
|          | 7,5                 | 74,95                           | 12,89 | 69,94 | 11.550,89 | 9,40  | 3,37 | VII |  |
|          | 30,0                | 156,57                          | 14,25 | 45,23 | 13.001,43 | 15,58 | 3,70 | VII |  |
| SM-com   | 0,0                 | 96,72                           | 10,64 | 50,78 | 13.869,70 | 16,59 | 3,76 | VII |  |
|          | 2,5                 | 70,12                           | 8,81  | 51,25 | 9.426,80  | 16,15 | 2,61 | VII |  |
|          | 5,0                 | 166,76                          | 11,18 | 62,40 | 13.531,57 | 17,00 | 4,53 | VII |  |
|          | 7,5                 | 124,78                          | 12,79 | 55,60 | 13.872,45 | 15,43 | 4,27 | VII |  |
|          | 30,0                | 225,39                          | 13,78 | 60,18 | 12.713,20 | 15,22 | 5,98 | VII |  |
| SM-PD    | 0,0                 | 52,45                           | 8,29  | 33,00 | 12.508,00 | 9,88  | 3,46 | VII |  |
|          | 2,5                 | 76,41                           | 13,83 | 47,10 | 16.702,93 | 18,29 | 6,11 | VII |  |
|          | 5,0                 | 64,20                           | 10,30 | 42,47 | 13.403,08 | 9,97  | 3,90 | VII |  |
|          | 7,5                 | 84,85                           | 9,10  | 40,97 | 13.392,19 | 11,19 | 3,93 | VII |  |
|          | 30,0                | 206,64                          | 13,95 | 43,19 | 11.678,61 | 11,28 | 3,42 | VII |  |
| OM-PD    | 2,5                 | 80,40                           | 20,25 | 37,63 | 14.740,62 | 18,31 | 5,94 | VII |  |
|          | 30,0                | 276,61                          | 37,20 | 60,18 | 27.154,85 | 20,89 | 8,03 | VII |  |

VII Valores abaixo do limite de detecção do método de dosagem (ICP-OES).

**Quadro A10.** Teores de Mn, Cu, Zn, Fe, Cr, Ni e As no sistema radicular de plantas de soja cultivadas no solo TM em função de diferentes doses e fontes de Mn

| Material | Dose<br>mg dm <sup>-3</sup> | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |        |        |           |       |       | As  |
|----------|-----------------------------|---------------------------------|--------|--------|-----------|-------|-------|-----|
|          |                             | Mn                              | Cu     | Zn     | Fe        | Cr    | Ni    |     |
| F-Barb   | 0,0                         | 168,77                          | 7,80   | 82,01  | 9.653,37  | 17,03 | 1,17  | VII |
|          | 2,5                         | 145,27                          | 7,52   | 86,43  | 5.678,29  | 9,29  | 10,86 | VII |
|          | 5,0                         | 219,48                          | 6,13   | 68,53  | 9.800,42  | 29,83 | 1,72  | VII |
|          | 7,5                         | 170,32                          | 8,29   | 84,19  | 8.124,20  | 14,40 | 1,86  | VII |
|          | 30,0                        | 247,98                          | 5,13   | 64,12  | 4.503,44  | 6,76  | 1,32  | VII |
| C-Barb   | 0,0                         | 127,50                          | 6,70   | 79,21  | 2.712,64  | 3,50  | 0,07  | VII |
|          | 2,5                         | 133,89                          | 5,10   | 62,66  | 7.002,21  | 9,95  | 0,73  | VII |
|          | 5,0                         | 204,04                          | 7,82   | 68,57  | 8.697,23  | 15,03 | 1,32  | VII |
|          | 7,5                         | 428,57                          | 13,32  | 89,20  | 6.700,99  | 11,10 | 1,58  | VII |
|          | 30,0                        | 495,28                          | 8,11   | 90,75  | 9.295,32  | 18,94 | 2,12  | VII |
| C-OP     | 0,0                         | 106,37                          | 10,54  | 116,24 | 5.310,38  | 8,68  | 0,74  | VII |
|          | 2,5                         | 164,23                          | 8,37   | 74,69  | 10.184,04 | 17,52 | 3,18  | VII |
|          | 5,0                         | 172,52                          | 6,82   | 83,65  | 3.470,14  | 4,89  | 0,33  | VII |
|          | 7,5                         | 184,38                          | 8,45   | 73,16  | 9.333,22  | 18,41 | 2,11  | VII |
|          | 30,0                        | 351,06                          | 6,85   | 81,10  | 6.795,37  | 12,73 | 2,39  | VII |
| Con-Sal  | 0,0                         | 107,62                          | 6,61   | 72,39  | 7.005,75  | 11,22 | 0,98  | VII |
|          | 2,5                         | 139,22                          | 11,17  | 84,46  | 7.153,72  | 22,90 | 0,72  | VII |
|          | 5,0                         | 187,23                          | 7,47   | 80,84  | 8.570,43  | 13,98 | 1,17  | VII |
|          | 7,5                         | 163,64                          | 4,43   | 58,59  | 6.583,29  | 11,85 | 1,14  | VII |
|          | 30,0                        | 508,11                          | 5,13   | 56,07  | 6.244,32  | 10,15 | 1,79  | VII |
| C-Cor    | 0,0                         | 101,43                          | 15,08  | 68,89  | 3.695,08  | 4,91  | 0,13  | VII |
|          | 2,5                         | 130,79                          | 5,99   | 271,23 | 9.935,14  | 8,64  | 2,44  | VII |
|          | 5,0                         | 152,35                          | 5,11   | 63,03  | 6.286,55  | 9,88  | 0,70  | VII |
|          | 7,5                         | 190,55                          | 4,84   | 56,86  | 7.673,36  | 14,86 | 0,66  | VII |
|          | 30,0                        | 292,69                          | 7,97   | 80,32  | 9.052,08  | 13,27 | 0,75  | VII |
| SM-com   | 0,0                         | 104,95                          | 5,85   | 75,25  | 4.176,95  | 5,12  | 0,47  | VII |
|          | 2,5                         | 141,49                          | 9,82   | 79,78  | 5.801,87  | 8,94  | 0,57  | VII |
|          | 5,0                         | 235,61                          | 100,27 | 91,43  | 5.346,50  | 18,57 | 16,43 | VII |
|          | 7,5                         | 304,59                          | 6,95   | 66,12  | 6.947,53  | 11,43 | 2,55  | VII |
|          | 30,0                        | 957,86                          | 9,07   | 70,53  | 5.435,30  | 8,33  | 3,26  | VII |
| SM-PD    | 0,0                         | 55,81                           | 4,37   | 24,88  | 3.052,51  | 2,87  | 0,34  | VII |
|          | 2,5                         | 176,42                          | 6,64   | 44,64  | 3.790,69  | 5,32  | 1,56  | VII |
|          | 5,0                         | 82,57                           | 6,85   | 36,96  | 2.475,48  | 2,88  | 3,34  | VII |
|          | 7,5                         | 183,54                          | 5,05   | 49,61  | 5.889,38  | 9,89  | 0,88  | VII |
|          | 30,0                        | 529,44                          | 5,77   | 48,44  | 6.258,64  | 7,95  | 3,83  | VII |
| OM-PD    | 2,5                         | 119,40                          | 4,13   | 43,30  | 7.079,72  | 12,48 | 0,82  | VII |
|          | 30,0                        | 542,83                          | 10,79  | 94,43  | 6.566,16  | 10,99 | 1,14  | VII |

VII Valores abaixo do limite de detecção do método de dosagem.

**Quadro A11.** Teores de Mn, Cu, Zn e Fe no sistema radicular de plantas de eucalipto cultivadas no solo TG em função de diferentes doses e fontes de Mn.

| Material | Dose                | Mn                  | Cu     | Zn     | Fe        |
|----------|---------------------|---------------------|--------|--------|-----------|
|          | mg dm <sup>-3</sup> | mg kg <sup>-1</sup> |        |        |           |
| F-Barb   | 0,0                 | 138,91              | 26,23  | 83,10  | 10.734,95 |
|          | 2,5                 | 217,03              | 24,96  | 79,40  | 8.717,41  |
|          | 5,0                 | 206,21              | 19,09  | 70,88  | 12.294,64 |
|          | 7,5                 | 236,29              | 21,60  | 98,38  | 9.316,12  |
|          | 30,0                | 400,80              | 16,02  | 67,88  | 16.888,71 |
| C-Barb   | 0,0                 | 131,59              | 22,10  | 105,74 | 11.983,25 |
|          | 2,5                 | 116,27              | 17,26  | 67,31  | 11.511,63 |
|          | 5,0                 | 378,90              | 28,47  | 114,29 | 13.481,86 |
|          | 7,5                 | 269,22              | 20,11  | 98,06  | 12.266,61 |
|          | 30,0                | 431,06              | 23,21  | 73,55  | 14.071,63 |
| C-OP     | 0,0                 | 87,07               | 251,68 | 79,84  | 10.141,32 |
|          | 2,5                 | 114,54              | 18,55  | 62,07  | 10.815,80 |
|          | 5,0                 | 312,94              | 20,60  | 92,54  | 9.719,36  |
|          | 7,5                 | 234,55              | 23,73  | 62,56  | 7.887,27  |
|          | 30,0                | 492,58              | 15,59  | 102,38 | 7.936,10  |
| Con-Sal  | 0,0                 | 183,56              | 25,16  | 70,23  | 8.088,08  |
|          | 2,5                 | 263,94              | 15,71  | 85,42  | 5.958,25  |
|          | 5,0                 | 304,48              | 24,15  | 83,15  | 9.495,56  |
|          | 7,5                 | 496,71              | 16,12  | 71,83  | 7.103,00  |
|          | 30,0                | 1423,28             | 30,66  | 79,53  | 6.814,19  |
| C-Cor    | 0,0                 | 148,68              | 20,67  | 102,98 | 6.247,92  |
|          | 2,5                 | 164,44              | 19,43  | 61,40  | 6.997,51  |
|          | 5,0                 | 172,12              | 18,47  | 64,04  | 8.297,80  |
|          | 7,5                 | 337,81              | 30,62  | 103,61 | 12.208,11 |
|          | 30,0                | 416,55              | 18,11  | 53,85  | 15.890,79 |
| SM-com   | 0,0                 | 96,00               | 19,03  | 80,96  | 15.535,51 |
|          | 2,5                 | 200,67              | 20,98  | 90,99  | 10.550,75 |
|          | 5,0                 | 465,24              | 22,40  | 125,26 | 11.035,12 |
|          | 7,5                 | 314,41              | 16,74  | 62,77  | 13.933,31 |
|          | 30,0                | 628,65              | 16,44  | 57,92  | 13.856,43 |
| SM-PD    | 0,0                 | 72,51               | 15,29  | 55,97  | 17.853,01 |
|          | 2,5                 | 134,02              | 14,33  | 56,15  | 18.436,46 |
|          | 5,0                 | 639,61              | 16,34  | 359,71 | 14.533,32 |
|          | 7,5                 | 343,69              | 15,44  | 55,63  | 15.608,04 |
|          | 30,0                | 603,27              | 17,76  | 54,79  | 15.222,24 |
| OM-PD    | 2,5                 | 131,85              | 16,17  | 63,91  | 14.762,38 |
|          | 30,0                | 628,89              | 19,69  | 52,83  | 13.116,17 |

**Quadro A12.** Teores de Mn, Cu, Zn e Fe no sistema radicular de plantas de eucalipto cultivadas no solo TM em função de diferentes doses e fontes de Mn.

| Material | Dose                | Mn                  | Cu    | Zn     | Fe        |
|----------|---------------------|---------------------|-------|--------|-----------|
|          | mg dm <sup>-3</sup> | mg kg <sup>-1</sup> |       |        |           |
| F-Barb   | 0,0                 | 389,33              | 10,45 | 500,30 | 5.480,84  |
|          | 2,5                 | 236,11              | 6,35  | 220,59 | 6.399,89  |
|          | 5,0                 | 806,15              | 8,81  | 514,39 | 3.936,44  |
|          | 7,5                 | 534,04              | 10,27 | 277,49 | 5.685,92  |
|          | 30,0                | 676,89              | 7,98  | 263,99 | 3.702,85  |
| C-Barb   | 0,0                 | 213,59              | 6,96  | 251,45 | 3.139,82  |
|          | 2,5                 | 275,89              | 7,43  | 244,27 | 5.072,19  |
|          | 5,0                 | 266,20              | 8,35  | 154,33 | 4.125,58  |
|          | 7,5                 | 721,35              | 14,09 | 348,86 | 2.964,31  |
|          | 30,0                | 1154,77             | 10,74 | 347,62 | 3.862,77  |
| C-OP     | 0,0                 | 194,34              | 5,35  | 175,32 | 2.681,82  |
|          | 2,5                 | 189,36              | 7,25  | 156,85 | 3.376,11  |
|          | 5,0                 | 282,49              | 6,23  | 191,76 | 6.864,73  |
|          | 7,5                 | 288,47              | 7,91  | 155,54 | 4.687,81  |
|          | 30,0                | 619,07              | 13,06 | 180,40 | 7.008,34  |
| Con-Sal  | 0,0                 | 298,63              | 8,35  | 266,11 | 7.196,93  |
|          | 2,5                 | 383,00              | 8,23  | 204,45 | 7.240,54  |
|          | 5,0                 | 456,60              | 5,98  | 127,63 | 5.904,90  |
|          | 7,5                 | 603,26              | 7,44  | 259,23 | 5.558,03  |
|          | 30,0                | 2060,71             | 10,17 | 412,75 | 4.349,25  |
| C-Cor    | 0,0                 | 129,20              | 4,12  | 138,11 | 4.014,95  |
|          | 2,5                 | 248,19              | 7,87  | 184,20 | 4.572,80  |
|          | 5,0                 | 623,45              | 11,74 | 542,09 | 7.220,12  |
|          | 7,5                 | 617,38              | 21,25 | 277,78 | 7.626,51  |
|          | 30,0                | 1166,70             | 7,29  | 125,25 | 5.173,58  |
| SM-com   | 0,0                 | 170,62              | 7,09  | 136,11 | 6.542,16  |
|          | 2,5                 | 235,75              | 7,16  | 148,87 | 5.002,35  |
|          | 5,0                 | 226,20              | 5,25  | 112,34 | 7.062,03  |
|          | 7,5                 | 483,94              | 10,29 | 282,81 | 6.023,92  |
|          | 30,0                | 598,41              | 6,83  | 141,80 | 5.895,90  |
| SM-PD    | 0,0                 | 374,04              | 9,56  | 209,80 | 8.018,68  |
|          | 2,5                 | 300,06              | 6,81  | 180,76 | 6.562,68  |
|          | 5,0                 | 476,49              | 20,68 | 232,94 | 11.005,33 |
|          | 7,5                 | 923,94              | 10,21 | 395,38 | 5.054,42  |
|          | 30,0                | 1467,61             | 14,87 | 384,33 | 3.898,04  |
| OM-PD    | 2,5                 | 307,55              | 5,63  | 207,65 | 3.710,33  |
|          | 30,0                | 954,26              | 6,30  | 269,15 | 3.592,25  |

**Quadro A13.** Matéria seca Total (Parte aérea + Raiz) de plantas de soja cultivadas em diversas doses de cada material, em casa de vegetação, no solo TG e TM.

| Solo | Dose  | Material     |              |            |               |             |              |             |
|------|-------|--------------|--------------|------------|---------------|-------------|--------------|-------------|
|      |       | M1<br>F-Barb | M2<br>C-Barb | M3<br>C-OP | M4<br>Con-Sal | M5<br>C-Cor | M6<br>SM-com | M7<br>SM-PD |
| TG   | 0,0   | 11,23        | 14,28        | 12,77      | 13,70         | 10,10       | 13,65        | 9,20        |
|      | 2,5   | 12,07        | 13,75        | 13,52      | 15,70         | 10,95       | 10,51        | 11,52       |
|      | 5,0   | 12,69        | 13,55        | 13,51      | 11,77         | 11,30       | 12,65        | 5,83        |
|      | 7,5   | 10,35        | 12,46        | 14,21      | 9,14          | 12,48       | 10,67        | 8,85        |
|      | Média | 11,59        | 13,51        | 13,50      | 12,58         | 11,21       | 11,87        | 8,85        |
|      |       |              | B a          | A a        | B a           | A a         | B ab         | A a         |
| TM   | 0,0   | 20,33        | 14,64        | 16,29      | 16,55         | 11,09       | 9,59         | 2,65        |
|      | 2,5   | 11,40        | 19,39        | 19,42      | 12,22         | 14,88       | 10,88        | 3,23        |
|      | 5,0   | 13,43        | 12,09        | 18,44      | 14,00         | 18,30       | 15,86        | 2,24        |
|      | 7,5   | 16,97        | 11,93        | 15,96      | 13,09         | 16,66       | 10,98        | 3,77        |
|      | Média | 15,53        | 14,51        | 17,53      | 13,96         | 15,23       | 11,82        | 2,97        |
|      |       |              | A ab         | A b        | A a           | A bc        | A ab         | A c         |

As médias seguidas pela mesma letra (maiúscula – na coluna) e (minúscula - na linha), não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Quadro A14.** Matéria seca Total (Parte aérea + Raiz) de plantas de eucalipto cultivadas em diversas doses de cada material, em casa de vegetação, no solo TG e de TM.

| Solo | Dose  | Material     |              |            |               |             |              |             |
|------|-------|--------------|--------------|------------|---------------|-------------|--------------|-------------|
|      |       | M1<br>F-Barb | M2<br>C-Barb | M3<br>C-OP | M4<br>Con-Sal | M5<br>C-Cor | M6<br>SM-com | M7<br>SM-PD |
| TG   | 0,0   | 12,28        | 10,48        | 16,50      | 9,69          | 10,07       | 15,32        | 22,12       |
|      | 2,5   | 11,20        | 15,44        | 17,19      | 16,79         | 15,69       | 15,09        | 13,62       |
|      | 5,0   | 14,42        | 12,71        | 14,44      | 16,41         | 15,37       | 11,75        | 15,30       |
|      | 7,5   | 15,30        | 16,93        | 13,45      | 15,25         | 13,43       | 13,13        | 16,23       |
|      | Média | 13,30        | 13,89        | 15,40      | 14,54         | 13,64       | 13,82        | 16,82       |
|      |       |              | A a          | B a        | B a           | A a         | A a          | B a         |
| TM   | 0,0   | 11,97        | 17,15        | 21,12      | 16,27         | 15,51       | 23,57        | 12,29       |
|      | 2,5   | 17,86        | 16,96        | 22,36      | 15,09         | 22,54       | 17,46        | 20,72       |
|      | 5,0   | 8,96         | 23,70        | 21,34      | 19,55         | 13,28       | 23,97        | 6,08        |
|      | 7,5   | 18,38        | 14,06        | 17,54      | 16,24         | 13,05       | 13,34        | 11,07       |
|      | Média | 14,29        | 17,97        | 20,59      | 16,79         | 16,10       | 19,59        | 12,54       |
|      |       |              | A bc         | A ab       | A a           | A abc       | A abc        | A a         |

As médias seguidas pela mesma letra (maiúscula – na coluna) e (minúscula - na linha), não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Quadro A15.** Conteúdo de Manganês Total (Parte aérea + Raiz) em plantas de soja cultivadas em diversas doses de cada material, em casa de vegetação, no solo TG e TM.

| Solo | Dose  | Material     |              |            |               |             |              |             |
|------|-------|--------------|--------------|------------|---------------|-------------|--------------|-------------|
|      |       | M1<br>F-Barb | M2<br>C-Barb | M3<br>C-OP | M4<br>Con-Sal | M5<br>C-Cor | M6<br>SM-com | M7<br>SM-PD |
| TG   | 0,0   | 0,951        | 1,143        | 1,062      | 1,428         | 0,780       | 1,078        | 0,617       |
|      | 2,5   | 1,197        | 1,388        | 1,458      | 2,059         | 1,440       | 1,106        | 1,140       |
|      | 5,0   | 1,169        | 1,361        | 1,836      | 1,761         | 1,088       | 1,645        | 0,655       |
|      | 7,5   | 1,069        | 1,535        | 2,064      | 2,195         | 1,634       | 2,033        | 1,314       |
|      | Média | 1,096        | 1,357        | 1,605      | 1,860         | 1,235       | 1,466        | 0,931       |
|      |       |              | B b          | B ab       | B ab          | B a         | B ab         | B ab        |
| TM   | 0,0   | 2,858        | 2,391        | 2,330      | 2,122         | 1,766       | 1,630        | 0,197       |
|      | 2,5   | 1,882        | 2,656        | 3,674      | 2,491         | 2,975       | 2,238        | 0,592       |
|      | 5,0   | 2,604        | 2,446        | 3,558      | 3,368         | 3,366       | 3,427        | 0,409       |
|      | 7,5   | 3,526        | 2,916        | 3,382      | 3,982         | 3,991       | 3,246        | 0,825       |
|      | Média | 2,718        | 2,602        | 3,236      | 2,991         | 3,025       | 2,635        | 0,506       |
|      |       |              | A a          | A a        | A a           | A a         | A a          | A a         |

As médias seguidas pela mesma letra (maiúscula – na coluna) e (minúscula - na linha), não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Quadro A16.** Conteúdo de Manganês Total (Parte aérea + Raiz) em plantas de eucalipto cultivadas em diversas doses de cada material, em casa de vegetação, no solo TG e TM.

| Solo | Dose  | Material     |              |            |               |             |              |             |
|------|-------|--------------|--------------|------------|---------------|-------------|--------------|-------------|
|      |       | M1<br>F-Barb | M2<br>C-Barb | M3<br>C-OP | M4<br>Con-Sal | M5<br>C-Cor | M6<br>SM-com | M7<br>SM-PD |
| TG   | 0,0   | 2,430        | 3,081        | 3,345      | 2,925         | 2,746       | 2,910        | 2,812       |
|      | 2,5   | 3,588        | 3,329        | 3,840      | 6,501         | 3,995       | 5,180        | 3,368       |
|      | 5,0   | 4,577        | 3,875        | 4,274      | 8,236         | 5,277       | 5,734        | 4,739       |
|      | 7,5   | 5,473        | 5,665        | 5,176      | 10,577        | 5,050       | 6,893        | 6,727       |
|      | Média | 4,017        | 3,987        | 4,159      | 7,060         | 4,267       | 5,180        | 4,412       |
|      |       |              | B b          | B b        | B b           | B a         | B b          | B ab        |
| TM   | 0,0   | 4,363        | 5,028        | 6,576      | 5,796         | 4,780       | 8,346        | 3,735       |
|      | 2,5   | 6,248        | 6,643        | 8,110      | 7,210         | 7,837       | 7,814        | 6,967       |
|      | 5,0   | 4,871        | 9,847        | 9,178      | 12,604        | 6,639       | 10,839       | 3,722       |
|      | 7,5   | 10,062       | 6,991        | 8,015      | 12,306        | 6,702       | 6,526        | 7,506       |
|      | Média | 6,386        | 7,127        | 7,970      | 9,479         | 6,489       | 8,381        | 5,483       |
|      |       |              | A cd         | A bcd      | A abc         | A a         | A bcd        | A ab        |

As médias seguidas pela mesma letra (maiúscula – na coluna) e (minúscula - na linha), não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Quadro A17.** Análise de variância para massa da matéria seca total (parte aérea + raiz) e o conteúdo de Mn na planta de soja e do eucalipto nos solos TG e TM.

| Fonte de Variação | G.L. | Quadrado Médio        |                      |                          |                     |
|-------------------|------|-----------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|
|                   |      | Matéria Seca (g/vaso) |                      | Conteúdo de Mn (mg/vaso) |                     |
|                   |      | Soja                  | Eucalipto            | Soja                     | Eucalipto           |
| Solo (S)          | 1    | 61,317 **             | 232,305 **           | 57,086 **                | 285,001 **          |
| Material (M)      | 6    | 229,842 **            | 46,671 **            | 8,035 **                 | 32,350 **           |
| Dose (D)          | 3    | 5,475 <sup>ns</sup>   | 37,126 <sup>ns</sup> | 6,594 **                 | 81,243 **           |
| S * M             | 6    | 75,250 **             | 68,516 **            | 3,351 **                 | 4,684 <sup>ns</sup> |
| S * D             | 3    | 4,251 <sup>ns</sup>   | 30,696 <sup>ns</sup> | 0,822 <sup>ns</sup>      | 3,410 <sup>ns</sup> |
| M * D             | 18   | 17,862 **             | 35,709 **            | 0,475 <sup>ns</sup>      | 7,850 **            |
| S * M * D         | 18   | 15,605 **             | 41,818 **            | 0,341 <sup>ns</sup>      | 5,149               |
| Resíduo           | 112  | 4,537                 | 14,544               | 0,366                    | 2,591 *             |
| C.V. (%)          |      | 17,07                 | 24,35                | 31,08                    | 26,70               |

\*\*,\* e ns: significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

**Quadro A18.** Massa da matéria seca da soja (MSS), eucalipto (MSE) e conteúdo de manganês da Soja (MnS) e eucalipto (MnE) em função das doses de Mn (D) aplicados ao solo, para os materiais no solo TG.

| Variável            | Equação                              | R <sup>2</sup> |
|---------------------|--------------------------------------|----------------|
| <b>M1 (F-Barb)</b>  |                                      |                |
| MSS                 | $11,09 + 0,8701 D - 0,12670 D^2$     | 0,88           |
| MSE                 | $11,95 - 0,0988 D + 0,07867 D^2$     | 0,79           |
| MnS                 | $0,96 + 0,1170 D - 0,01386 D^2$      | 0,94           |
| MnE                 | $2,49 + 0,4047 D$                    | 0,99           |
| <b>M2 (C-Barb)</b>  |                                      |                |
| MSS                 | $14,36 - 0,2265 D$                   | 0,91           |
| MSE                 | não ajustou                          | -              |
| MnS                 | $1,18 + 0,04591 D$                   | 0,84           |
| MnE                 | $3,12 - 0,1305 D + 0,06167 D^2$      | 0,99           |
| <b>M3 (C-OP)</b>    |                                      |                |
| MSS                 | $12,86 + 0,1725 D$                   | 0,90           |
| MSE                 | $16,76 + 0,0266 D - 0,06707 D^2$     | 0,85           |
| MnS                 | $1,10 + 0,1353 D$                    | 0,99           |
| MnE                 | $3,27 + 0,2370 D$                    | 0,97           |
| <b>M4 (Con-Sal)</b> |                                      |                |
| MSS                 | $13,75 + 4,7736 D^{1/2} - 2,39843 D$ | 0,97           |
| MSE                 | $9,70 + 7,7563 D^{1/2} - 2,09963 D$  | 0,99           |
| MnS                 | não ajustou                          | -              |
| MnE                 | $3,35 + 0,9876 D$                    | 0,98           |
| <b>M5 (C-Cor)</b>   |                                      |                |
| MSS                 | $10,08 + 0,3001 D$                   | 0,96           |
| MSE                 | $10,06 + 6,8736 D^{1/2} - 2,04816 D$ | 0,99           |
| MnS                 | não ajustou                          | -              |
| MnE                 | $2,67 + 0,7706 D - 0,05904 D^2$      | 0,97           |
| <b>M6 (SM-com)</b>  |                                      |                |
| MSS                 | não ajustou                          | -              |
| MSE                 | não ajustou                          | -              |
| MnS                 | $0,96 + 0,1361 D$                    | 0,91           |
| MnE                 | $3,30 + 0,5001 D$                    | 0,93           |
| <b>M7 (SM-PD)</b>   |                                      |                |
| MSS                 | não ajustou                          | -              |
| MSE                 | não ajustou                          | -              |
| MnS                 | não ajustou                          | -              |
| MnE                 | $2,80 + 0,0952 D + 0,05726 D^2$      | 0,99           |

**Quadro A19.** Matéria seca da soja (MSS), eucalipto (MSE) e conteúdo de manganês da Soja (MnS) e eucalipto (MnE) em função das doses de Mn (D) aplicados ao solo, para os materiais no solo TM.

| Variável            | Equação                              | R <sup>2</sup> |
|---------------------|--------------------------------------|----------------|
| <b>M1 (F-Barb)</b>  |                                      |                |
| MSS =               | $19,86 - 4,0632 D + 0,49886 D^2$     | 0,90           |
| MSE =               | não ajustou                          | -              |
| MnS =               | $2,78 - 0,4603 D + 0,07590 D^2$      | 0,92           |
| MnE =               | não ajustou                          | -              |
| <b>M2 (C-Barb)</b>  |                                      |                |
| MSS =               | não ajustou                          | -              |
| MSE =               | não ajustou                          | -              |
| MnS =               | não ajustou                          | -              |
| MnE =               | $4,64 + 1,7050 D - 0,17883 D^2$      | 0,76           |
| <b>M3 (C-OP)</b>    |                                      |                |
| MSS =               | $16,42 + 1,6034 D - 0,22420 D^2$     | 0,96           |
| MSE =               | $21,09 + 1,0427 D - 0,20173 D^2$     | 0,99           |
| MnS =               | $2,40 + 0,5776 D - 0,06078 D^2$      | 0,91           |
| MnE =               | $6,49 + 1,0246 D - 0,10790 D^2$      | 0,95           |
| <b>M4 (Con-Sal)</b> |                                      |                |
| MSS =               | $16,46 - 3,9331 D^{1/2} + 1,05184 D$ | 0,82           |
| MSE =               | não ajustou                          | -              |
| MnS =               | $2,02 + 0,2583 D$                    | 0,98           |
| MnE =               | $5,74 + 0,9969 D$                    | 0,85           |
| <b>M5 (C-Cor)</b>   |                                      |                |
| MSS =               | $10,85 + 2,3386 D - 0,21773 D^2$     | 0,96           |
| MSE =               | não ajustou                          | -              |
| MnS =               | $1,96 + 0,2826 D$                    | 0,95           |
| MnE =               | $4,82 + 3,1824 D^{1/2} - 0,94644 D$  | 0,89           |
| <b>M6 (SM-com)</b>  |                                      |                |
| MSS =               | não ajustou                          | -              |
| MSE =               | não ajustou                          | -              |
| MnS =               | $1,73 + 0,2415 D$                    | 0,84           |
| MnE =               | não ajustou                          | -              |
| <b>M7 (SM-PD)</b>   |                                      |                |
| MSS =               | não ajustou                          | -              |
| MSE =               | não ajustou                          | -              |
| MnS =               | não ajustou                          | -              |
| MnE =               | não ajustou                          | -              |

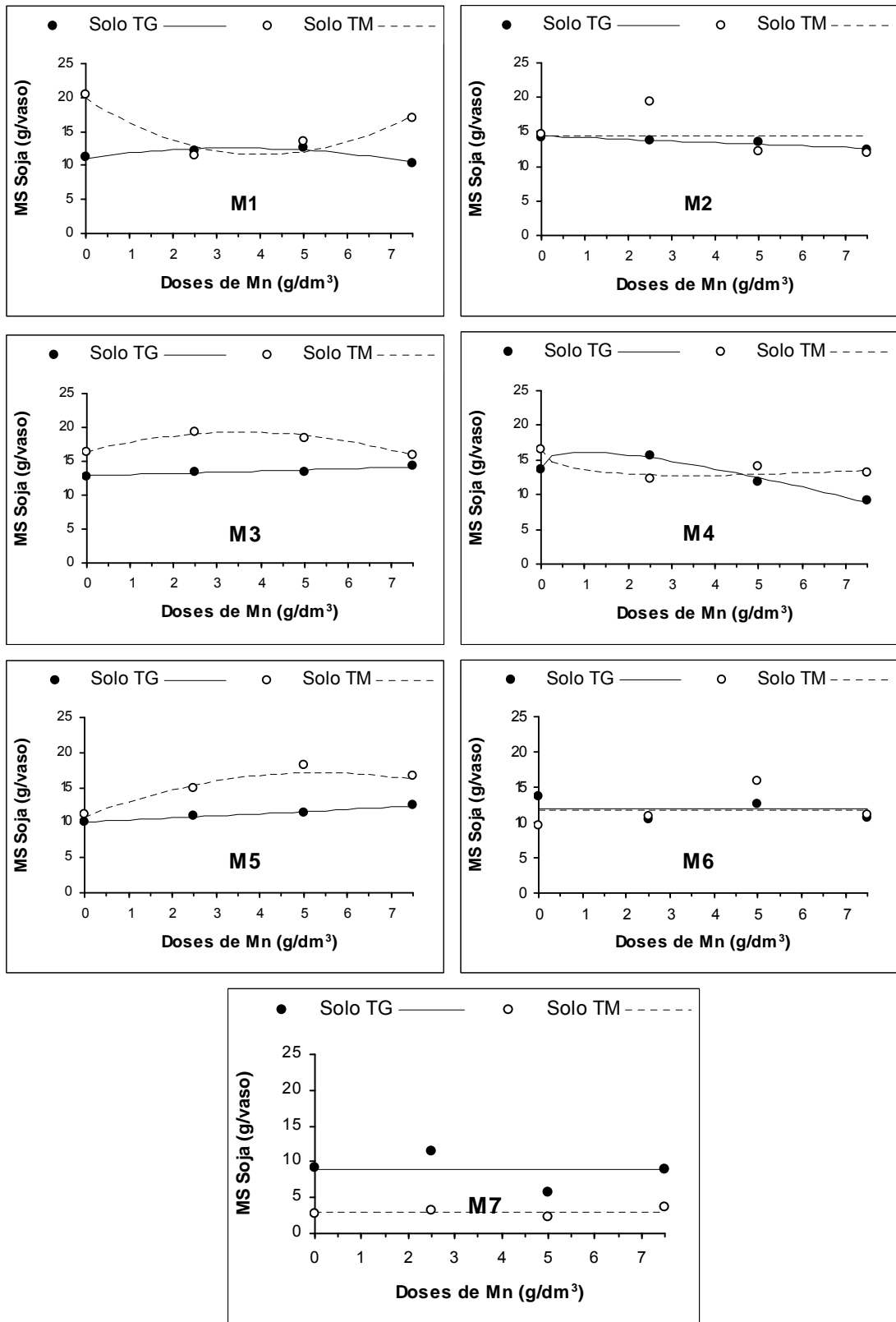
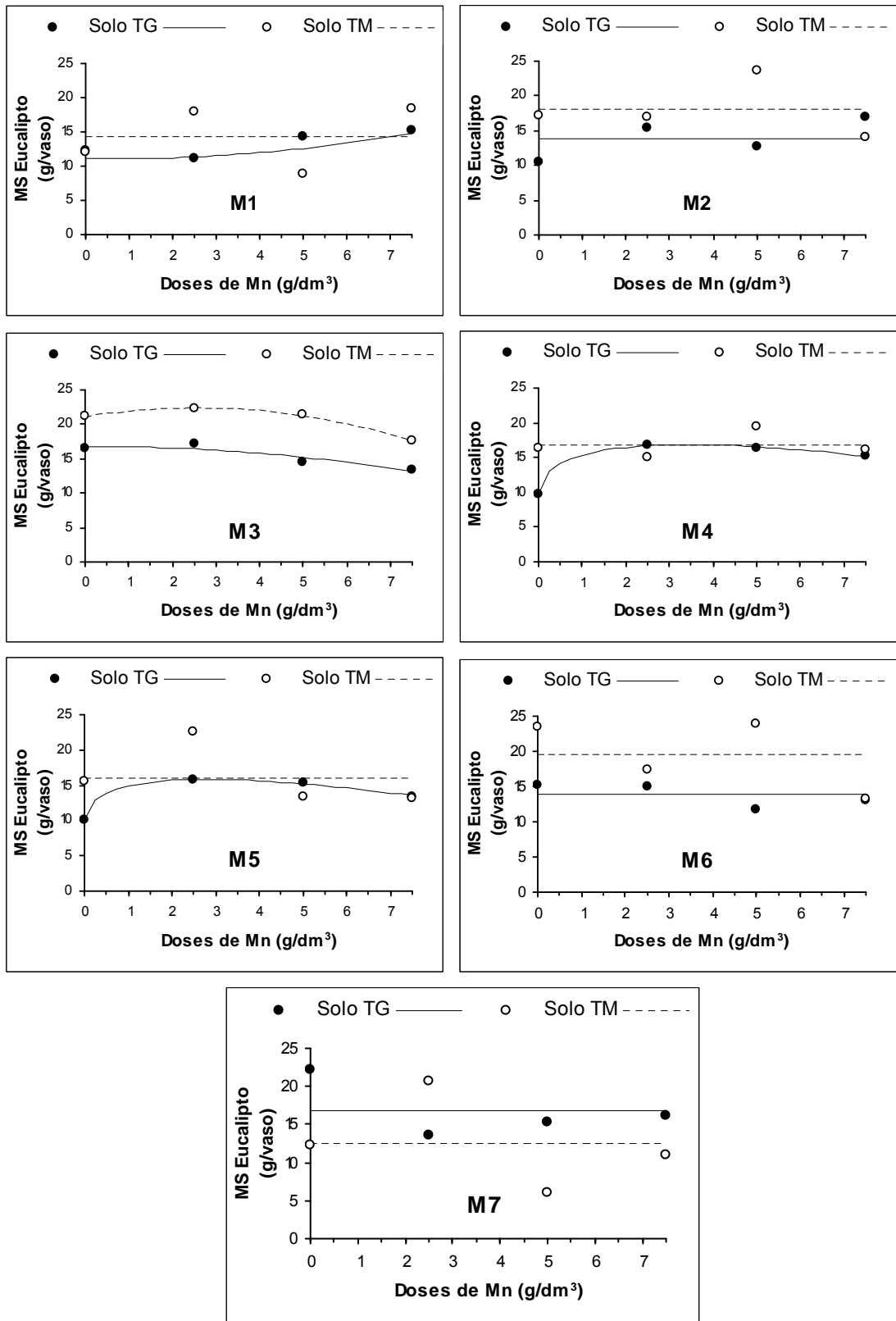


Figura A1. Massa de matéria seca da soja, em função das doses de Mn aplicadas para cada solo em estudo.



**Figura A2.** Matéria seca do eucalipto, em função das doses de Mn aplicadas para cada solo em estudo.

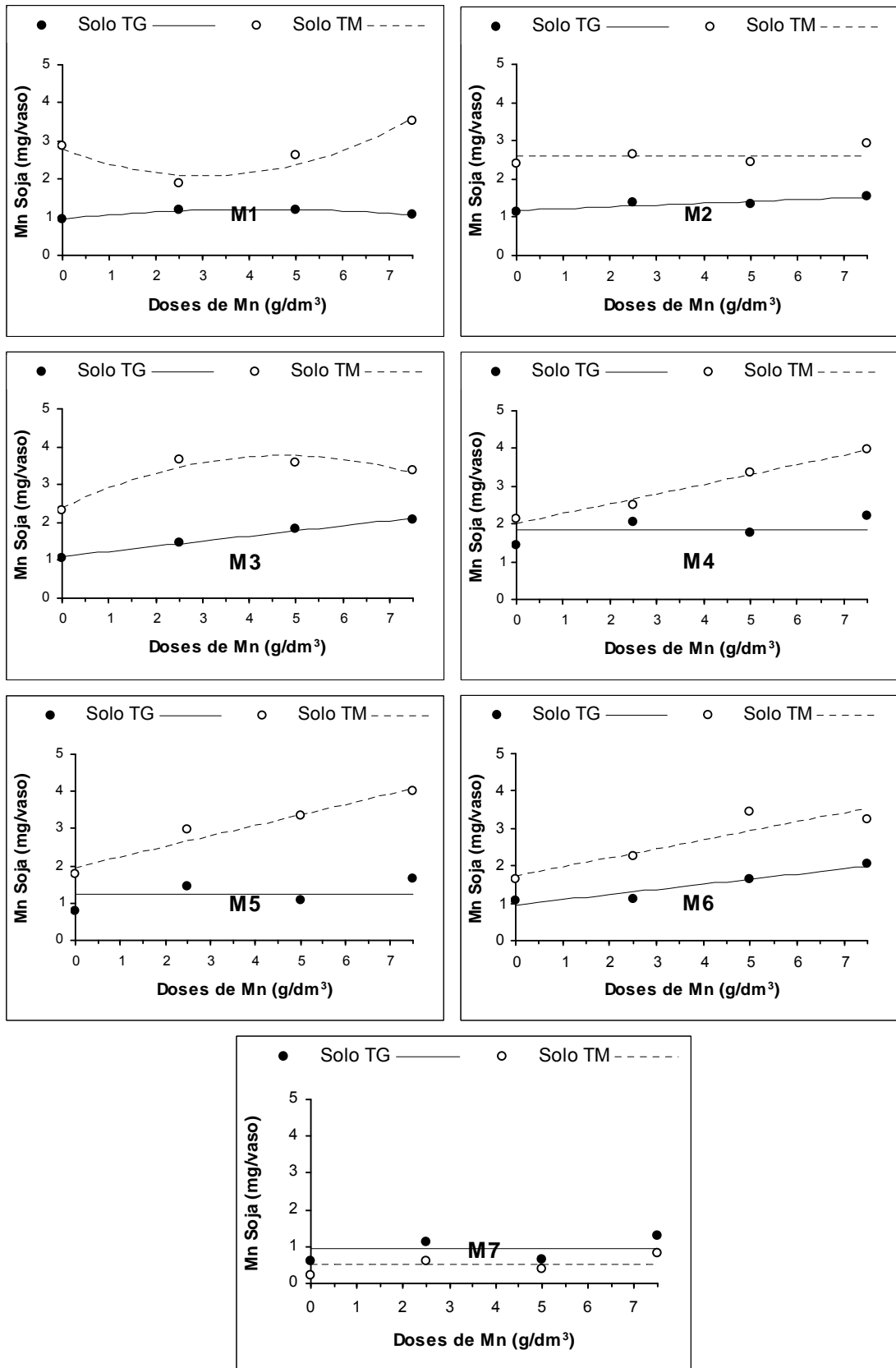


Figura A3. Conteúdo de Mn na soja, em função das doses de Mn aplicadas para cada solo em estudo.

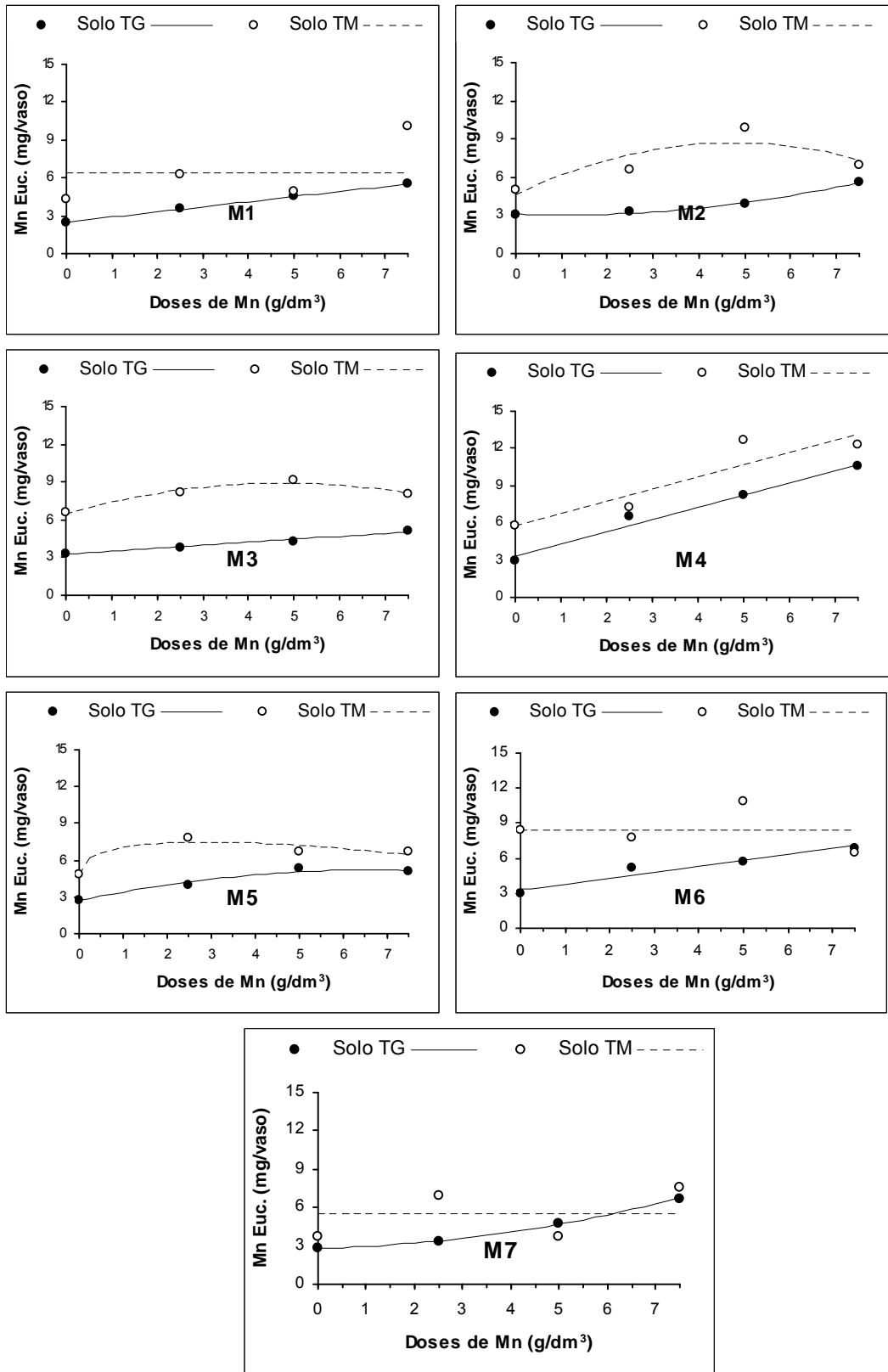


Figura A4. Conteúdo de Mn no eucalipto, em função das doses de Mn aplicadas para cada solo em estudo.

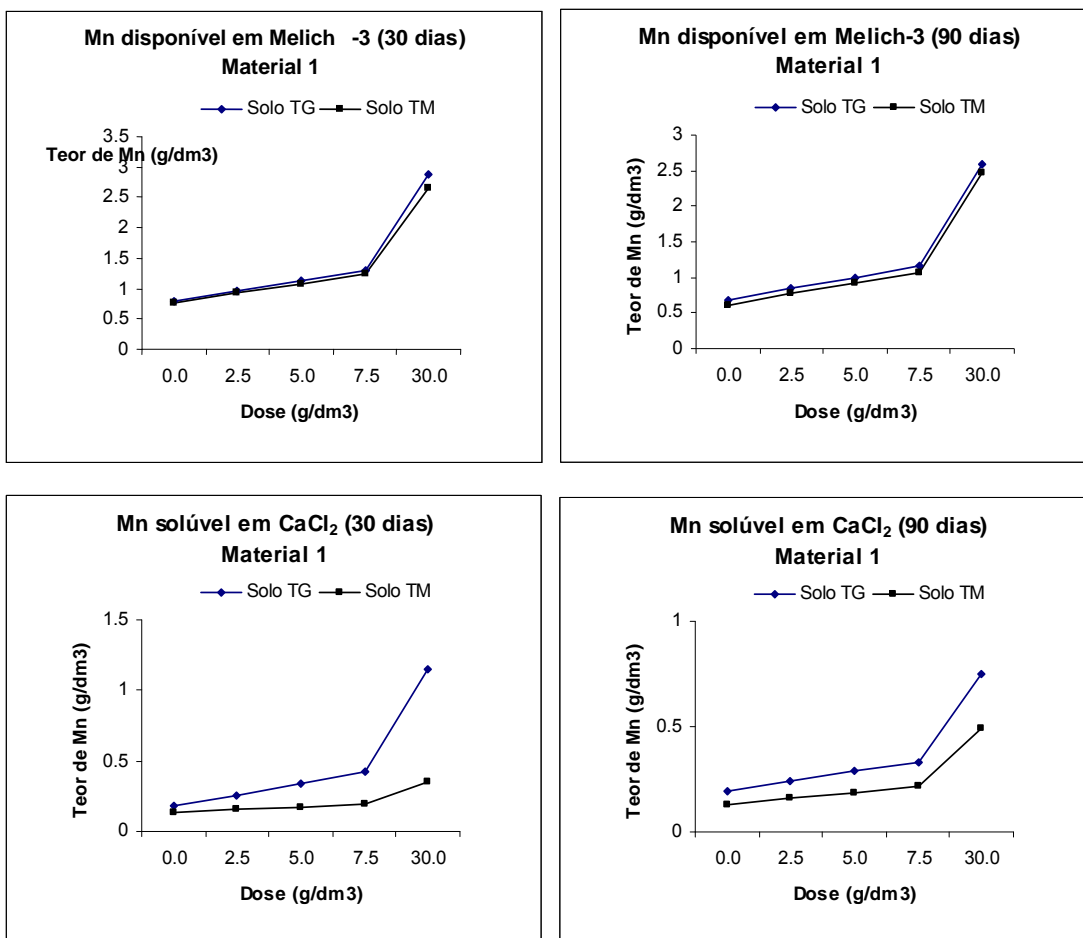
**Quadro A20.** Análise de variância com três fatores (Dose, Material e solo) e três repetições, para o Mn disponível em Melich-3 e Mn solúvel em CaCl<sub>2</sub> (aos 30 e 90 dias) nos solos TG e TM.

| Fonte de Variação | G.L. | Quadrado Médio |    |         |    |                      |    |         |    |
|-------------------|------|----------------|----|---------|----|----------------------|----|---------|----|
|                   |      | Mn Melich-3    |    |         |    | Mn CaCl <sub>2</sub> |    |         |    |
|                   |      | 30 dias        |    | 90 dias |    | 30 dias              |    | 90 dias |    |
| Dose (D)          | 4    | 44,4561        | ** | 37,6314 | ** | 5,68068              | ** | 1,71891 | ** |
| Material (M)      | 7    | 2,84396        | ** | 3,02476 | ** | 0,33443              | ** | 0,09111 | ** |
| Solo (S)          | 1    | 0,47730        | ** | 0,02231 | ns | 6,44848              | ** | 1,63168 | ** |
| D * M             | 28   | 0,89249        | ** | 1,10176 | ** | 0,14406              | ** | 0,04260 | ** |
| D * S             | 4    | 0,05101        | *  | 0,11963 | ** | 1,45563              | ** | 0,17391 | ** |
| M * S             | 7    | 0,02744        | ns | 0,02596 | ns | 0,07619              | ** | 0,04790 | ** |
| D * M * S         | 28   | 0,06907        | ** | 0,02424 | ns | 0,02653              | ** | 0,02721 | ** |
| Resíduo           | 160  | 2,84396        |    | 0,02121 |    | 0,00381              |    | 0,00574 |    |
| C.V. (%)          |      | 9,7695         |    | 11,089  |    | 15,437               |    | 26,424  |    |

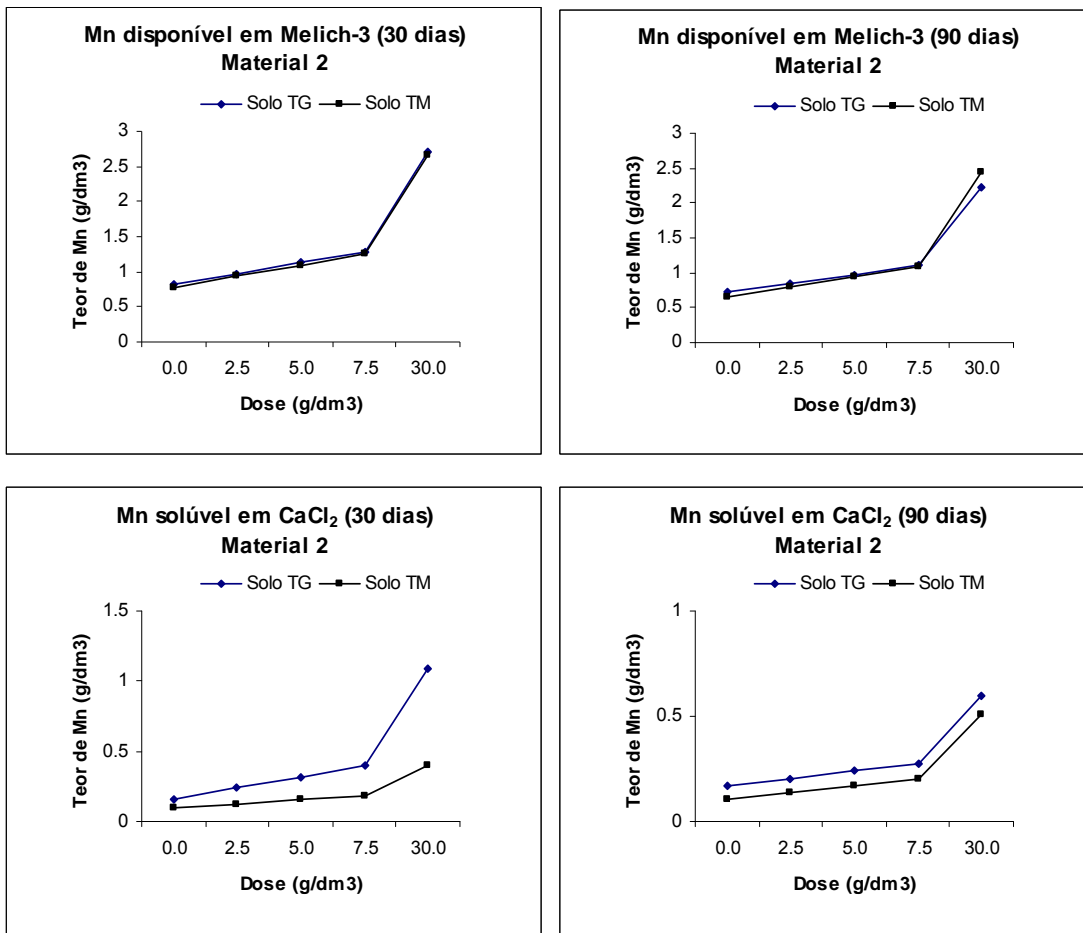
| Efeito de Material dentro de Solo * Dose |      |                |    |         |    |                      |    |         |    |
|--|------|----------------|----|---------|----|----------------------|----|---------|----|
| Fonte de Variação                        | G.L. | Quadrado Médio |    |         |    |                      |    |         |    |
|  |      | Mn Melich-3    |    |         |    | Mn CaCl <sub>2</sub> |    |         |    |
|  |      | 30 dias        |    | 90 dias |    | 30 dias              |    | 90 dias |    |
| M / S * D                                |      |                |    |         |    |                      |    |         |    |
| S <sub>1</sub> * D <sub>1</sub>          | 7    | 0,00386        | ns | 0,00222 | ** | 0,00147              | ns | 0,00062 | ns |
| S <sub>1</sub> * D <sub>2</sub>          | 7    | 0,03029        | ** | 0,01799 | ns | 0,01196              | ** | 0,00271 | ** |
| S <sub>1</sub> * D <sub>3</sub>          | 7    | 0,13187        | ** | 0,08012 | ** | 0,02267              | ** | 0,01130 | ns |
| S <sub>1</sub> * D <sub>4</sub>          | 7    | 0,17757        | ** | 0,16582 | ns | 0,03354              | ** | 0,02455 | ** |
| S <sub>1</sub> * D <sub>5</sub>          | 7    | 3,95084        | ** | 3,34989 | ** | 0,76726              | ** | 0,34251 | ** |
| S <sub>2</sub> * D <sub>1</sub>          | 7    | 0,00188        | ns | 0,00052 | ** | 0,00033              | ns | 0,00157 | ** |
| S <sub>2</sub> * D <sub>2</sub>          | 7    | 0,02773        | ** | 0,02715 | ** | 0,00116              | ns | 0,00139 | *  |
| S <sub>2</sub> * D <sub>3</sub>          | 7    | 0,13260        | ** | 0,12867 | ** | 0,00498              | ** | 0,00322 | ns |
| S <sub>2</sub> * D <sub>4</sub>          | 7    | 0,37160        | ** | 0,38240 | ** | 0,00748              | ** | 0,00346 | ** |
| S <sub>2</sub> * D <sub>5</sub>          | 7    | 1,88939        | ** | 3,39991 | ** | 0,24213              | ** | 0,02693 | ns |

| Efeito de Solo dentro de Material * Dose |      |                |    |         |    |                      |    |          |    |
|--|------|----------------|----|---------|----|----------------------|----|----------|----|
| Fonte de Variação                        | G.L. | Quadrado Médio |    |         |    |                      |    |          |    |
|  |      | Mn Melich-3    |    |         |    | Mn CaCl <sub>2</sub> |    |          |    |
|  |      | 30 dias        |    | 90 dias |    | 30 dias              |    | 90 dias  |    |
| S / M * D                                |      |                |    |         |    |                      |    |          |    |
| M <sub>1</sub> * D <sub>1</sub>          | 1    | 0,01206        | *  | 0,02509 | *  | 0,00299              | *  | 0,00256  | ns |
| M <sub>1</sub> * D <sub>2</sub>          | 1    | 0,00117        | ** | 0,00236 | ** | 0,00666              | ns | 0,013254 | ** |
| M <sub>1</sub> * D <sub>3</sub>          | 1    | 0,00017        | ** | 0,02065 | *  | 0,03168              | ** | 0,00385  | ns |
| M <sub>1</sub> * D <sub>4</sub>          | 1    | 0,01025        | *  | 0,00070 | ** | 0,13172              | ** | 0,05339  | *  |
| M <sub>1</sub> * D <sub>5</sub>          | 1    | 0,00625        | ** | 0,00160 | ** | 0,00346              | ** | 0,05339  | ** |
| M <sub>2</sub> * D <sub>1</sub>          | 1    | 0,03226        | *  | 0,02159 | *  | 0,00828              | ** | 0,00236  | *  |
| M <sub>2</sub> * D <sub>2</sub>          | 1    | 0,00312        | *  | 0,01224 | *  | 0,01782              | *  | 0,00866  | ns |

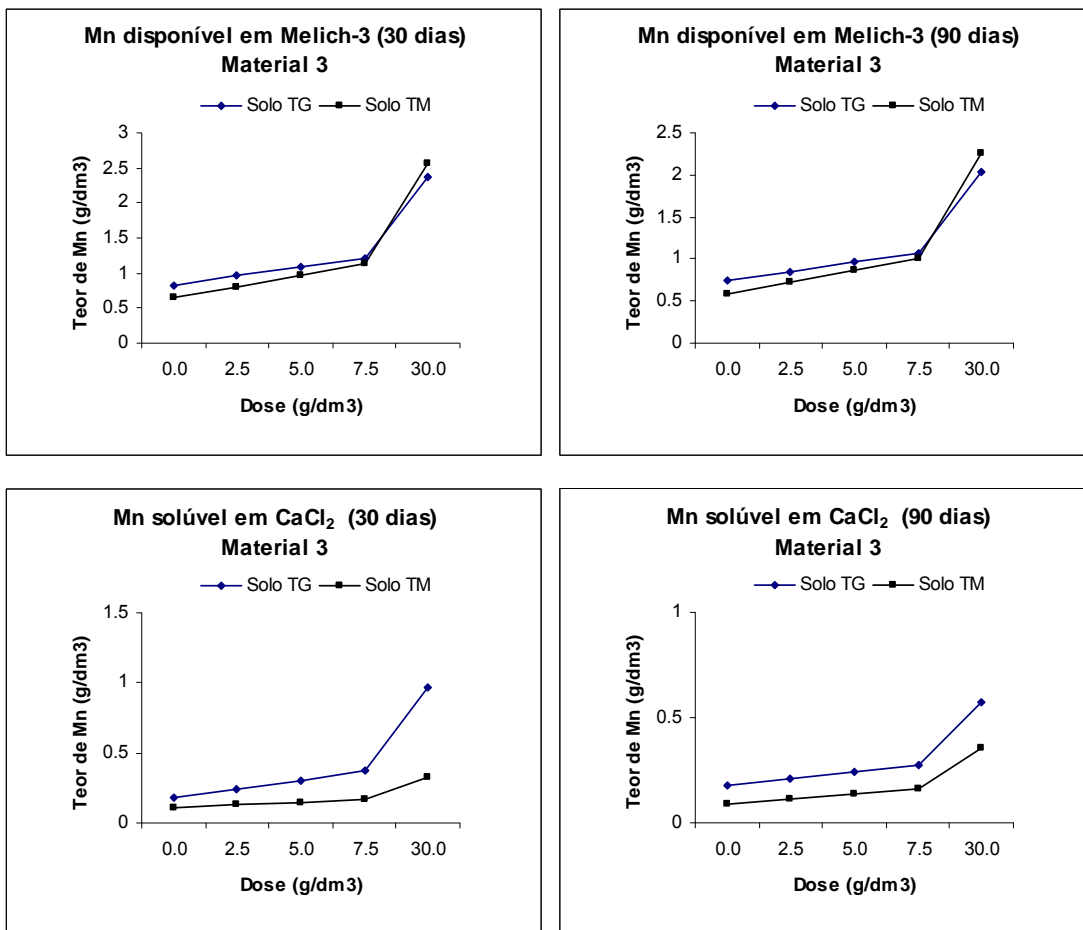
|                                 |   |         |    |         |    |         |    |         |    |
|---------------------------------|---|---------|----|---------|----|---------|----|---------|----|
| M <sub>2</sub> * D <sub>3</sub> | 1 | 0,00680 | ** | 0,00390 | ** | 0,04216 | *  | 0,01960 | ** |
| M <sub>2</sub> * D <sub>4</sub> | 1 | 0,00183 | ** | 0,00016 | ** | 0,05880 | ** | 0,00232 | ** |
| M <sub>2</sub> * D <sub>5</sub> | 1 | 0,00976 | ** | 0,06848 | ** | 0,71968 | ** | 0,01215 | ns |
| M <sub>3</sub> * D <sub>1</sub> | 1 | 0,04166 | ** | 0,01000 | *  | 0,00821 | ** | 0,00522 | *  |
| M <sub>3</sub> * D <sub>2</sub> | 1 | 0,02076 | ns | 0,09250 | ns | 0,02561 | ** | 0,02842 | *  |
| M <sub>3</sub> * D <sub>3</sub> | 1 | 0,00821 | ns | 0,00614 | ns | 0,03792 | ** | 0,01815 | ns |
| M <sub>3</sub> * D <sub>4</sub> | 1 | 0,03792 | *  | 0,01815 | ns | 0,05860 | ** | 0,00437 | *  |
| M <sub>3</sub> * D <sub>5</sub> | 1 | 0,06100 | *  | 0,06615 | *  | 0,61120 | ** | 0,07063 | ns |
| M <sub>4</sub> * D <sub>1</sub> | 1 | 0,02294 | ** | 0,01401 | *  | 0,00147 | *  | 0,00041 | ** |
| M <sub>4</sub> * D <sub>2</sub> | 1 | 0,01215 | ns | 0,00036 | ** | 0,04267 | ** | 0,01197 | ** |
| M <sub>4</sub> * D <sub>3</sub> | 1 | 0,00653 | ** | 0,01008 | ** | 0,22388 | ** | 0,05762 | *  |
| M <sub>4</sub> * D <sub>4</sub> | 1 | 0,11343 | ns | 0,27051 | ns | 0,24240 | ** | 0,09753 | *  |
| M <sub>4</sub> * D <sub>5</sub> | 1 | 1,99296 | ns | 0,02666 | ** | 2,73375 | ** | 1,41135 | ** |
| M <sub>5</sub> * D <sub>1</sub> | 1 | 0,03110 | ** | 0,02788 | ** | 0,00646 | ** | 0,00728 | ** |
| M <sub>5</sub> * D <sub>2</sub> | 1 | 0,00984 | *  | 0,00680 | ** | 0,01749 | ** | 0,01749 | ** |
| M <sub>5</sub> * D <sub>3</sub> | 1 | 0,03435 | *  | 0,00350 | ns | 0,03760 | ** | 0,02160 | ** |
| M <sub>5</sub> * D <sub>4</sub> | 1 | 0,00286 | ** | 0,00437 | ** | 0,05491 | ** | 0,03588 | *  |
| M <sub>5</sub> * D <sub>5</sub> | 1 | 0,00299 | ** | 0,00299 | ns | 0,35819 | ** | 0,06222 | *  |
| M <sub>6</sub> * D <sub>1</sub> | 1 | 0,00601 | ns | 0,04067 | ** | 0,00240 | *  | 0,00426 | ** |
| M <sub>6</sub> * D <sub>2</sub> | 1 | 0,02747 | *  | 0,02842 | ** | 0,08307 | ** | 0,04664 | *  |
| M <sub>6</sub> * D <sub>3</sub> | 1 | 0,03619 | ns | 0,00345 | *  | 0,10773 | *  | 0,01591 | *  |
| M <sub>6</sub> * D <sub>4</sub> | 1 | 0,00112 | ** | 0,00126 | ** | 0,12818 | ** | 0,02306 | *  |
| M <sub>6</sub> * D <sub>5</sub> | 1 | 0,00160 | ** | 0,17544 | ns | 1,70346 | ** | 0,01848 | ns |
| M <sub>7</sub> * D <sub>1</sub> | 1 | 0,02600 | *  | 0,02870 | *  | 0,01960 | ns | 0,01206 | ** |
| M <sub>7</sub> * D <sub>2</sub> | 1 | 0,01353 | ns | 0,00784 | *  | 0,03634 | ** | 0,00952 | ** |
| M <sub>7</sub> * D <sub>3</sub> | 1 | 0,02172 | ns | 0,08881 | ** | 0,10166 | ** | 0,08496 | ns |
| M <sub>7</sub> * D <sub>4</sub> | 1 | 0,01738 | *  | 0,15681 | ** | 0,18691 | ** | 0,12470 | ** |
| M <sub>7</sub> * D <sub>5</sub> | 1 | 0,00576 | ** | 0,00028 | ** | 2,50648 | ** | 0,53401 | ** |
| M <sub>8</sub> * D <sub>1</sub> | 1 | 0,02634 | *  | 0,00470 | *  | 0,02860 | ns | 0,03706 | ** |
| M <sub>8</sub> * D <sub>2</sub> | 1 | 0,0323  | ns | 0,00934 | *  | 0,03434 | ** | 0,00351 | ** |
| M <sub>8</sub> * D <sub>3</sub> | 1 | 0,00123 | ns | 0,01995 | ns | 0,07020 | ** | 0,01083 | *  |
| M <sub>8</sub> * D <sub>4</sub> | 1 | 0,00897 | ns | 0,00960 | ns | 0,10586 | ** | 0,02318 | ** |
| M <sub>8</sub> * D <sub>5</sub> | 1 | 0,05060 | ** | 0,01814 | ** | 2,0091  | ** | 0,41081 | ** |



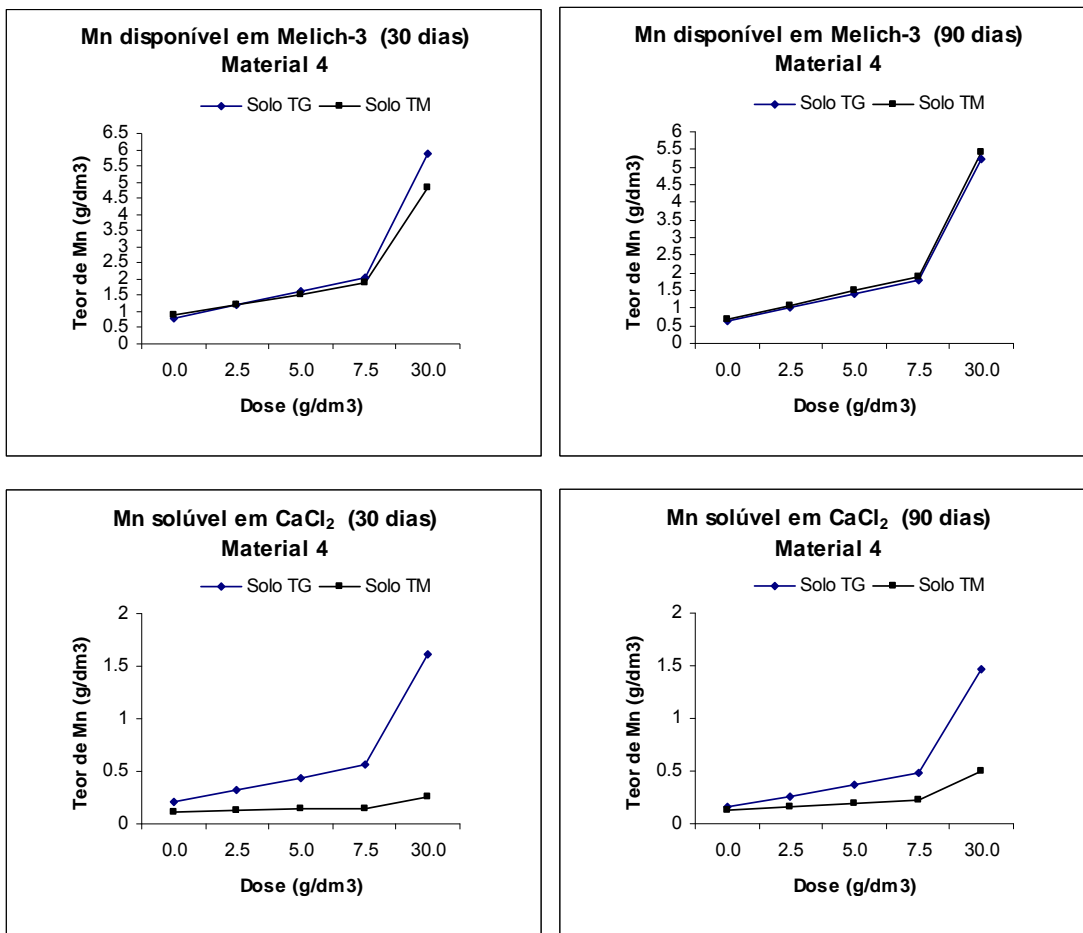
**Figura A5.** Teores de Mn disponível em Melich-3 e solúvel em CaCl<sub>2</sub> do material 1 (Barb-1) aos 30 e 90 dias, em função das doses de Mn aplicadas aos solos TG e TM no ensaio de incubação.



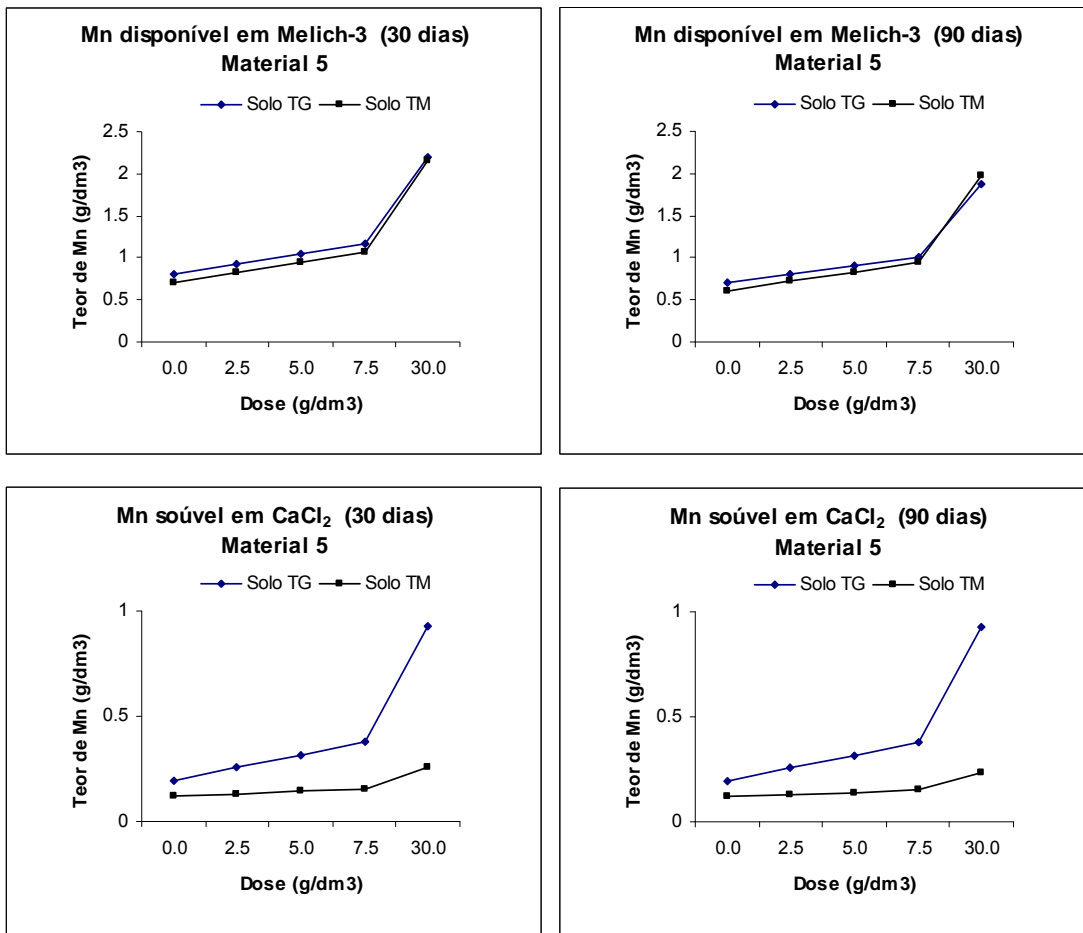
**Figura A6.** Teores de Mn disponível em Melich-3 e solúvel em CaCl<sub>2</sub> do material 2 (Barb-2) aos 30 e 90 dias, em função das doses de Mn aplicadas aos solos TG e TM no ensaio de incubação.



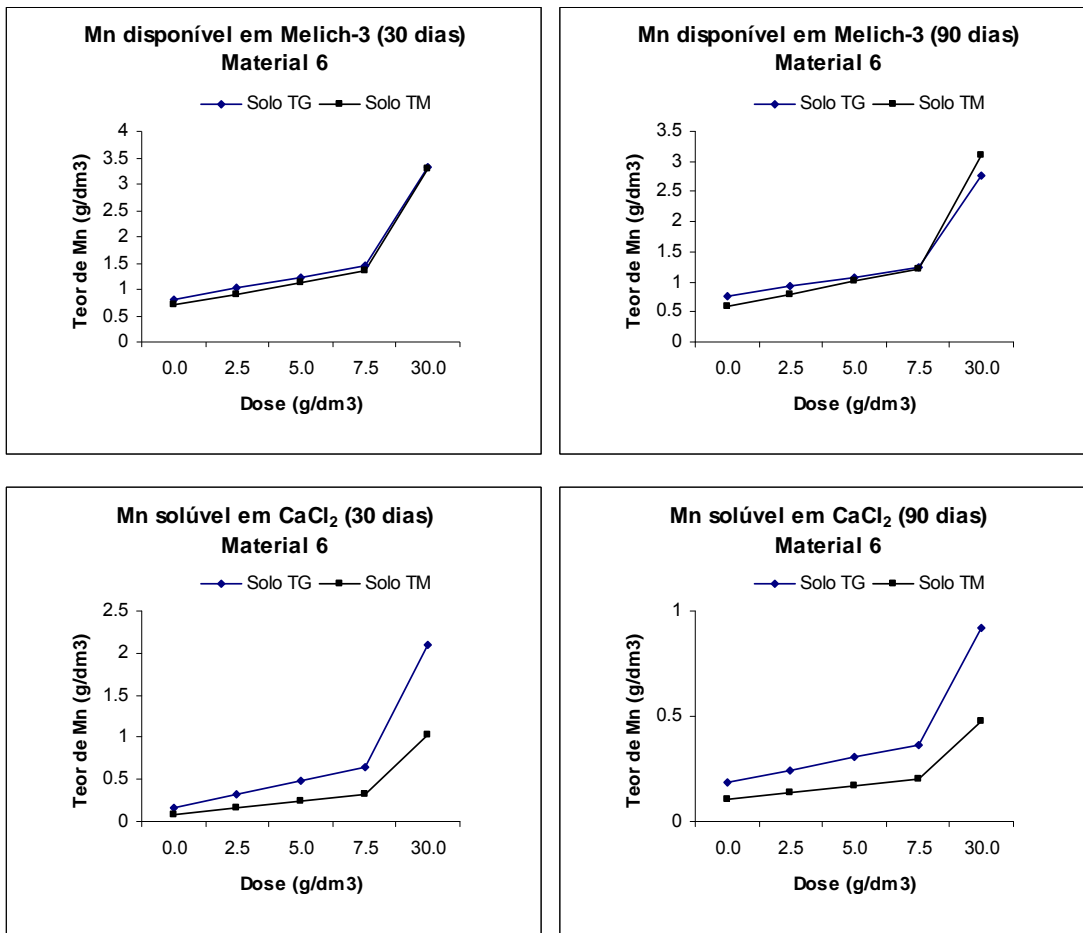
**Figura A7.** Teores de Mn disponível em Melich-3 e solúvel em CaCl<sub>2</sub> do material 3 (OP-4) aos 30 e 90 dias, em função das doses de Mn aplicadas aos solos TG e TM no ensaio de incubação.



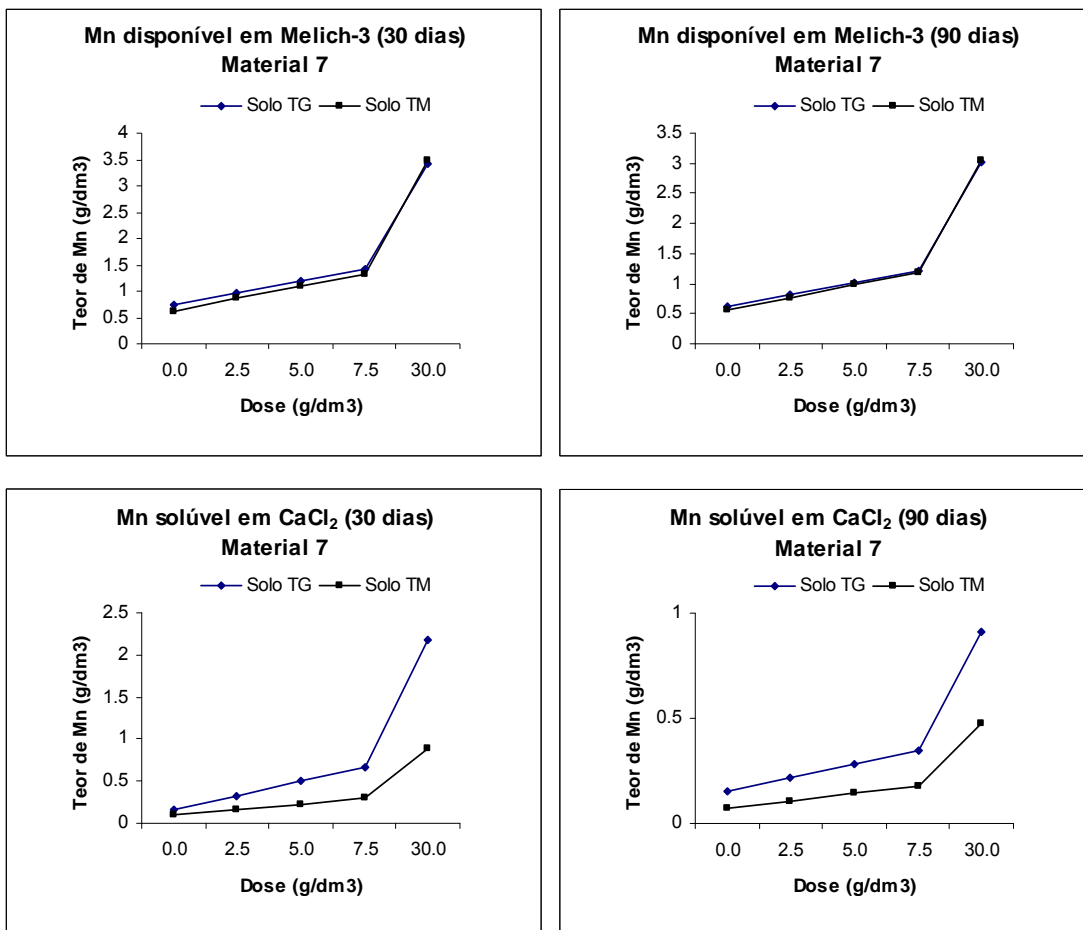
**Figura A8.** Teores de Mn disponível em Melich-3 e solúvel em CaCl<sub>2</sub> do material 4 (Salv-7) aos 30 e 90 dias, em função das doses de Mn aplicadas aos solos TG e TM no ensaio de incubação.



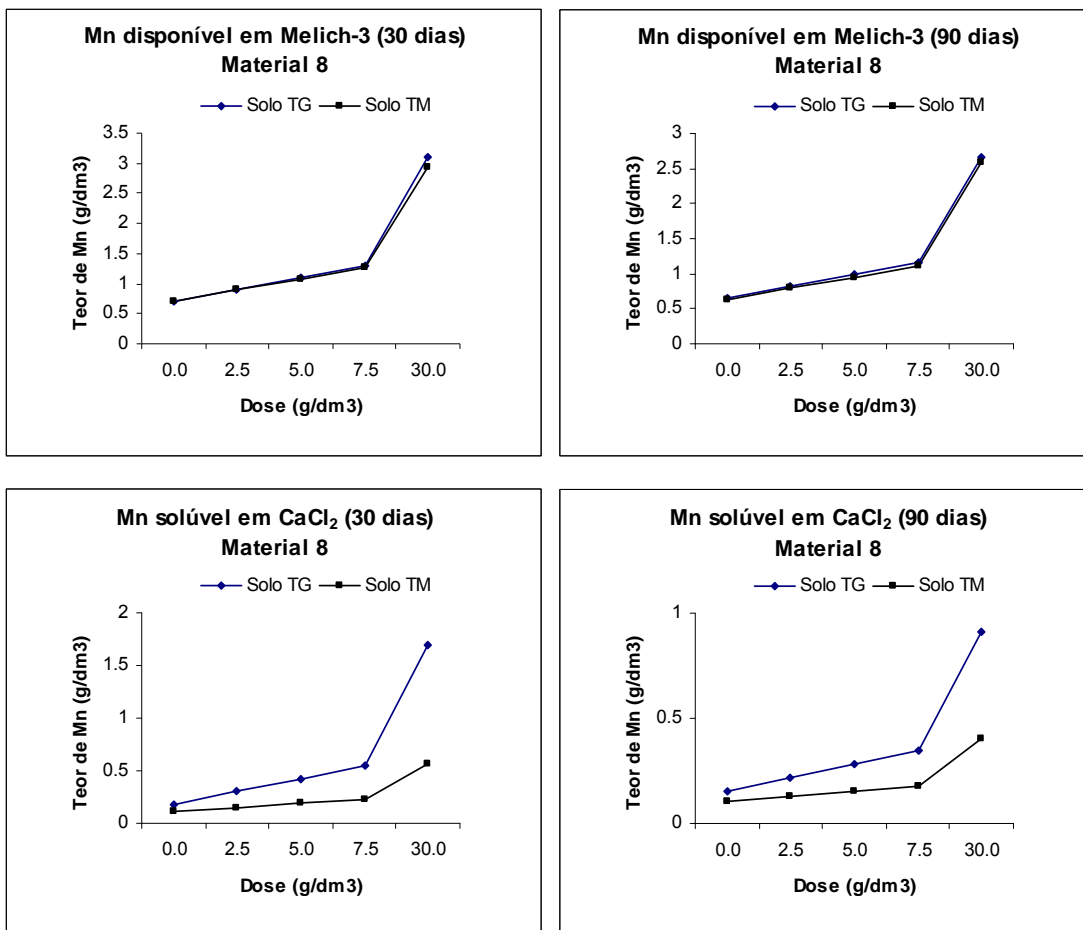
**Figura A9.** Teores de Mn disponível em Melich-3 e solúvel em CaCl<sub>2</sub> do material 5 (Cor-10) aos 30 e 90 dias, em função das doses de Mn aplicadas aos solos TG e TM no ensaio de incubação.



**Figura A10.** Teores de Mn disponível em Melich-3 e solúvel em CaCl<sub>2</sub> do material 6 (SM-Com) aos 30 e 90 dias, em função das doses de Mn aplicadas aos solos TG e TM no ensaio de incubação.



**Figura A11.** Teores de Mn disponível em Melich-3 e solúvel em CaCl<sub>2</sub> do material 7 (SM-PD) aos 30 e 90 dias, em função das doses de Mn aplicadas aos solos TG e TM no ensaio de incubação.



**Figura A12.** Teores de Mn disponível em Melich-3 e solúvel em CaCl<sub>2</sub> do material 8 (OM-PD) aos 30 e 90 dias, em função das doses de Mn aplicadas aos solos TG e TM no ensaio de incubação.