



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÔNOMICA



**EFEITO DE FONTES E DOSES DE MANGANÊS NO DESENVOLVIMENTO DO
CULTIVAR TAA BOLA CHEIA DE FEIJOEIRO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.)**

ARARAS – SP

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÔNOMICA



ANA LAURA BELLONI

**EFEITO DE FONTES E DOSES DE MANGANÊS NO DESENVOLVIMENTO DO
CULTIVAR TAA BOLA CHEIA DE FEIJOEIRO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.)**

Monografia apresentada ao curso de
Engenharia Agrônômica – CCA – UFSCar para
a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Roberto Soares.

ARARAS – SP

2016

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre iluminar minha vida e meus caminhos.

A toda minha família; principalmente minha mãe, Márcia, pelo carinho, por me apoiar em todas as minhas escolhas e decisões e me dar força para seguir sempre em frente; e meu irmão, Bruno, pelo carinho e pela diversão proporcionada em todos os momentos.

Ao meu namorado e companheiro Matheus, pela paciência, apoio e confiança durante toda essa caminhada.

Ao professor Dr. Marcio Roberto Soares, pela orientação ímpar neste trabalho, por passar todo seu conhecimento, pelo constante estímulo, pelo apoio e confiança.

Aos integrantes do GEMASO, em especial a Ana Lúcia, César, Danilo, Kauê, Jéssica, Josimara e Paulo; pela ajuda no desenvolvimento e execução de todo o trabalho.

A toda a equipe do Laboratório de Análise Química de Solo e Planta, técnicos e auxiliares.

As amigas que construí durante essa fase da minha vida, que me acompanharam sempre e nunca me permitiram desistir. Agradeço especialmente a Ana Lúcia, meu primeiro contato dentro da universidade, pela amizade, por toda a ajuda e por todos os conselhos. Também, as minhas companheiras de casa, Bruna e Letícia, por todas as risadas, conversas e convivência juntas.

As empresas Ballagro e Microquímica, pela contribuição com material necessário para o desenvolvimento do trabalho.

A todos vocês, o meu muito obrigada!

“Conhecimento não é aquilo que
você sabe, mas o que você faz com
aquilo que você sabe.”

Aldous Huxley

RESUMO

Um dos fatores primordiais para o aumento da produtividade da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é o emprego correto de fertilizantes. Porém, esse importante fator de produção agrícola ainda tem sido negligenciado por produtores rurais, principalmente quanto ao suprimento de micronutrientes. O manganês (Mn) se destaca por ser um micronutriente essencial na síntese de clorofila e sua deficiência tem influência direta no conteúdo dos carboidratos não estruturais solúveis. O objetivo deste trabalho foi avaliar o fornecimento de Mn para um cultivar de feijão comum a partir de diferentes fontes e doses de fertilizantes. Plantas do cultivar TAA Bola Cheia foram cultivadas em vasos em casa de vegetação, seguindo delineamento experimental em esquema fatorial 3x3+1, com 3 fontes de Mn [sulfato de Mn (aplicado via solo), Mn quelatizado por EDTA e cloreto de Mn (aplicados via foliar)], aplicadas em 3 dosagens distintas [dosagem recomendada (DR), 0,5 x DR e 2 x DR], além de um tratamento testemunha. As plantas foram colhidas aos 60 DAE e avaliadas quanto aos parâmetros biométricos (comprimento da haste, diâmetro do caule, área foliar, índice de clorofila total, número de vagens, biomassa seca de parte aérea) e nutricionais (análise química de tecido vegetal). A absorção e acúmulo de Mn nas folhas dependeram da fonte, da seguinte forma: $MnCl_2 > MnSO_4 = Mn\ EDTA$. O suprimento com Mn EDTA resultou em parâmetros biométricos significativamente maiores (n. de vagens, clorofila total, área foliar e MSPA). A fonte que resultou em maiores teores foliares de Mn foi o $MnCl_2$, cuja aplicação de 2,0 x DR provocou sintomas de toxidez nas plantas ($> 700\ mg\ kg^{-1}$). Não houve correlação entre teores de Mn e teores de clorofila presente nas folhas das plantas tratadas com diferentes suprimentos de Mn, mas os índices de clorofila total foram significativamente maiores nas plantas que receberam Mn via foliar, sobretudo na dose 2,0 x DR, independentemente da fonte. Desta forma, o ClorofiLOG não foi adequado para avaliar o estado nutricional das plantas em relação aos teores de Mn.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, micronutrientes, manganês, biometria, clorofila.

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Estádios fenológicos da cultura do feijoeiro. | 14 |
| Tabela 2. Características químicas e granulométricas de LATOSSOLO VERMELHO distrófico, coletado de área agrícola na profundidade de 0-20 cm. | 20 |
| Tabela 3. Características químicas do LATOSSOLO VERMELHO distrófico após correção com calcário. | 20 |
| Tabela 4. Características biométricas de feijão cultivado sob diferentes fontes e doses de manganês..... | 24 |
| Tabela 5. Teores de macronutrientes foliares presentes em plantas de feijoeiro comum cultivadas sob diferentes fontes e doses de Mn..... | 34 |
| Tabela 6. Teores de micronutrientes foliares presentes em plantas de feijoeiro comum cultivadas sob diferentes fontes e doses de Mn..... | 36 |
| Tabela 7. Atributos químicos do solo de vasos de plantas de feijoeiro cultivadas sob diferentes fontes e doses de Mn. | 37 |
| Tabela 8. Teores de nutrientes foliares adequados de plantas de feijoeiro..... | 38 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Mapeamento da produção agrícola total de feijão (primeira, segunda e terceira safras) no Brasil. | 12 |
| Figura 2. Esquema da fenologia do feijoeiro | 14 |
| Figura 3. Processo de quelatização do íon manganês (Mn^{2+}). | 17 |
| Figura 4. Gráfico de regressão polinomial do número de vagens de plantas de feijoeiro submetidas a diferentes fontes e doses de Mn..... | 26 |
| Figura 5. Gráfico de regressão polinomial do diâmetro do caule de plantas de feijoeiro submetidas a diferentes fontes e doses de Mn..... | 27 |
| Figura 6. Gráfico de regressão polinomial da altura de plantas de feijoeiro submetidas a diferentes fontes e doses de Mn. | 28 |
| Figura 7. Gráfico de regressão polinomial do índice de clorofila total de plantas de feijoeiro submetidas a diferentes fontes e doses de Mn..... | 29 |
| Figura 8. Gráfico de regressão polinomial da área foliar de plantas de feijoeiro submetidas a diferentes fontes e doses de Mn. | 31 |
| Figura 9. Gráfico comparativo da área foliar de plantas de feijoeiro submetidas a diferentes fontes e doses de Mn, todas comparadas a testemunha. | 32 |
| Figura 10. Gráfico de regressão polinomial de massa seca de parte aérea de plantas de feijoeiro submetidas a diferentes fontes e doses de Mn..... | 33 |
| Figura 11. Correlação dos teores de clorofila foliar e manganês foliar..... | 37 |
| Figura 12. Plantas de feijoeiro apresentando sintomas de toxidez por Mn..... | 39 |
| Figura 13. Vista geral dos vasos identificados logo após o plantio das sementes (bancada frontal). | 47 |
| Figura 14. Sementes de feijão antes do plantio, submetidas a tratamento com inoculante..... | 48 |
| Figura 15. Vista geral das plantas aos 10 DAE, logo após primeiro desbaste. No detalhe, nota-se a presença de duas plantas por vaso. | 48 |
| Figura 16. Vista geral das plantas aos 22 DAE, entre os estádios V3 e V4 da fase vegetativa. No detalhe, planta individual com 3 trifólios bem desenvolvidos..... | 48 |
| Figura 17. Plantas de feijão tutoradas, 40 DAE. | 49 |
| Figura 18. Plantas de feijão aos 50 DAE. | 49 |
| Figura 19. Vagens já formadas de plantas aos 50 DAE | 50 |
| Figura 20. Momento da coleta do experimento, aos 60 DAE. Altura de plantas sendo medidas com auxílio de trena. | 51 |
| Figura 21. Equipamentos usados para coleta de dados. À esquerda, medidor de área foliar (Area Meter); à direita, medidor portátil de clorofila (ClorofiLOG). | 51 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 9 |
| 1.2. Objetivos | 10 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 11 |
| 2.1. Aspectos econômicos da cultura do feijoeiro | 11 |
| 2.2. Fenologia do feijoeiro | 13 |
| 2.3. Manganês na planta..... | 14 |
| 2.4. Manganês no solo | 15 |
| 2.5. Fontes de manganês..... | 16 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 19 |
| 3.1. Delineamento experimental..... | 19 |
| 3.2. Cultivar escolhida | 19 |
| 3.3. Preparo do solo e calagem | 19 |
| 3.4. Adubação de plantio e cobertura | 20 |
| 3.5. Fontes de manganês e disposição dos tratamentos | 21 |
| 3.6. Tratos culturais..... | 21 |
| 3.7. Avaliações e colheita das plantas | 22 |
| 3.8. Forma de análise dos resultados | 23 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 24 |
| 4.1. Avaliações biométricas | 24 |
| 4.1.1. Número de vagens. | 25 |
| 4.1.2. Diâmetro do caule..... | 26 |
| 4.1.3. Altura de plantas..... | 27 |
| 4.1.4. Clorofila total | 28 |
| 4.1.5. Área foliar | 30 |
| 4.1.6. Massa seca de parte aérea..... | 32 |
| 4.2. Avaliações nutricionais | 34 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 40 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 41 |
| 7. ANEXO | 47 |

1. INTRODUÇÃO

A cultura do feijão deixou de ser considerada de subsistência e se tornou uma das culturas agrícolas mais rentáveis com o uso de tecnologias. O cultivo do feijoeiro no Brasil é realizado em três épocas distintas: 1ª safra – safra das “águas” – semeadura de setembro a novembro; 2ª safra – safra da “seca” – semeadura de janeiro a março; e 3ª safra – safra de inverno – semeadura de abril a junho. Grande parte do volume da produção de feijão é produzida na Região Centro-Sul, que apresenta as maiores médias de produtividade do país. Na safra 2014/2015, estima-se que a área plantada com a cultura nesta região tenha alcançado 1.426.700 ha, com produtividade média de 1.754 kg ha⁻¹, que poderá resultar em produção de 2.502.500 t. Com isso, a região Centro-Sul contribui com 73,6% da produção de feijão do país (CONAB, 2015).

A adubação e a nutrição mineral de plantas vêm se destacando como fatores primordiais para o aumento da produtividade nas lavouras. Porém, este importante fator de produção agrícola tem sido negligenciado por técnicos e produtores, principalmente quanto ao suprimento de micronutrientes (TEIXEIRA et al., 2004).

O Mn é essencial na síntese da molécula de clorofila, além de ser ativador de enzimas importantes que participam na fotólise da água no fotossistema II (MARSCHNER, 1995). Neste contexto, a análise da clorofila tem sido apontada como importante ferramenta para auxiliar no diagnóstico nutricional. A deficiência de Mn tem influência direta no conteúdo de carboidratos não estruturais solúveis, uma vez que pode reduzir o crescimento das raízes das plantas (DECHEN & NACHTIGALL, 2006).

Em razão dos poucos estudos de longa duração realizados no campo, ainda não é conhecido o efeito residual de fertilizantes que contém micronutrientes. Por ser uma planta de ciclo curto, o feijoeiro necessita que os nutrientes estejam prontamente disponíveis nos estádios de maior demanda da cultura, para não haver limitação de produtividade. Atualmente, as fontes de micronutrientes são agrupadas em inorgânicas, quelatos sintéticos, oxidos silicatados (“fritas”) e complexos orgânicos; diferindo-os quanto a concentração do elemento de interesse e quanto a solubilidade.

O conhecimento sobre as respostas da maioria das culturas de interesse econômico ao suprimento de micronutrientes precisa ser constantemente aprimorado. Embora importantes conclusões tenham sido construídas a partir de muitos resultados sobre a adubação e a nutrição mineral do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), grande parte deste conhecimento foi obtido há bastante tempo, com cultivares de baixo rendimento de grãos que não mais

representam os genótipos atualmente cultivados. Além disso, o surgimento de novas tecnologias de produção de fertilizantes, tais como a quelatização de micronutrientes, requer que a experimentação ocorra de forma ininterrupta, de forma a subsidiar novas práticas e a aprimorar o esclarecimento de algumas mais convencionais, como a adubação foliar, cuja prática ainda não foi devidamente esclarecida. A ampliação da produção e da produtividade de lavouras importantes para a economia brasileira, como a do feijão, também depende da detecção antecipada de situações que podem comprometer o rendimento durante o ciclo da cultura. Logo, o prognóstico de prováveis deficiências nutricionais antes do aparecimento do sintoma visual, a partir da estimativa dos teores de Mn baseada nos teores de clorofila, permite a retomada da adequada condução da cultura, sem importantes quedas da produção durante a safra.

1.2. Objetivos

Partindo-se das hipóteses de que fontes quelatizadas de Mn são mais facilmente absorvidas pelas plantas e que existe correlação entre teores de clorofila e teores foliares de Mn, o objetivo geral deste estudo foi avaliar o fornecimento de Mn para um cultivar de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em diferentes fontes e doses de fertilizantes. Os objetivos específicos foram:

- a) avaliar os parâmetros biométricos de plantas de feijoeiro submetidas a diferentes tipos e doses de suprimento de Mn;
- b) avaliar a existência de correlação entre teores foliares de Mn e de clorofila de um cultivar de feijão;
- c) avaliar a capacidade do clorofilômetro portátil ClorofiLOG em estimar o estado nutricional de plantas de feijoeiro com relação ao suprimento de Mn.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos econômicos da cultura do feijoeiro

Informações disponibilizadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) afirmam que 70% dos brasileiros consomem feijão diariamente. Este consumo pode-se distribuir em aproximadamente 40 tipos de feijão, sendo que o mais cultivado e consumido em todo Brasil é o feijão do tipo carioca, responsável por mais de 50% da área plantada. O mais consumido da região Sul, Santa Catarina, boa parte do Paraná, sudeste de Minas Gerais, Rio de Janeiro e sul do Espírito Santo é o feijão preto, plantado em mais de 20% da área total cultivada com feijão. Uma pequena parcela de quase 10% do cultivo é feito com o feijão caupi, também conhecido como feijão de corda, muito aceito nas regiões Norte e Nordeste brasileiras (MAGRI, 2002).

Houve um período, em meados dos anos 60, no qual o consumo per capita do feijão se apresentou em decréscimo. Tal queda estava associada a questões de clima, pragas, doenças e a outros fatores agrônômicos, que afetam a oferta do produto e seus preços. Nesta época, as previsões, conforme estudado por Junqueira et al (1971), eram de que o feijão seria uma cultura sem futuro e que sua produção seria restrita aos agricultores de subsistência. Porém, o cenário mudou nas últimas décadas.

A região centro-sul contribui na produção nacional apresentando excelentes produtividades, além de contribuir com 73,6% da produção de feijão do país (Figura 1). Na safra 2014/2015, estima-se que a área plantada com a cultura nesta região tenha alcançado 1.426.700 ha, com produtividade média de 1.754 kg ha⁻¹, que poderá resultar em produção de 2.502.500 t (CONAB, 2015).

O salto da produtividade nos últimos anos pode estar associado, ao menos em partes, à introdução de novas tecnologias no sistema de produção. Isto implica ainda em uma elevação do investimento nas lavouras, consequência de uma expectativa positiva de retorno deste investimento, sendo tanto em termos de produtividade, quanto em preços pagos ao produtor (MANOS et al, 2013).

A comercialização deste produto, bem como o preço pago ao produtor, dependem muito do tipo do feijão, ou como é normalmente dividido, pela coloração do grão. Há uma tendência do preço do feijão preto ser mais baixo do que o feijão do tipo carioca, enquanto os feijões de “outras cores” como são comumente chamados (feijões branco, avermelhados e rosados) podem ser vendidos por um preço cerca de 30% maior no mercado. (MANOS et al, 2013).

Mesmo que haja projeção de produção de 3.399.800 t de feijão na safra 2014/2015, o Brasil deverá importar cerca de 150.000 t para equilibrar os estoques e a balança comercial do produto (CONAB, 2015).

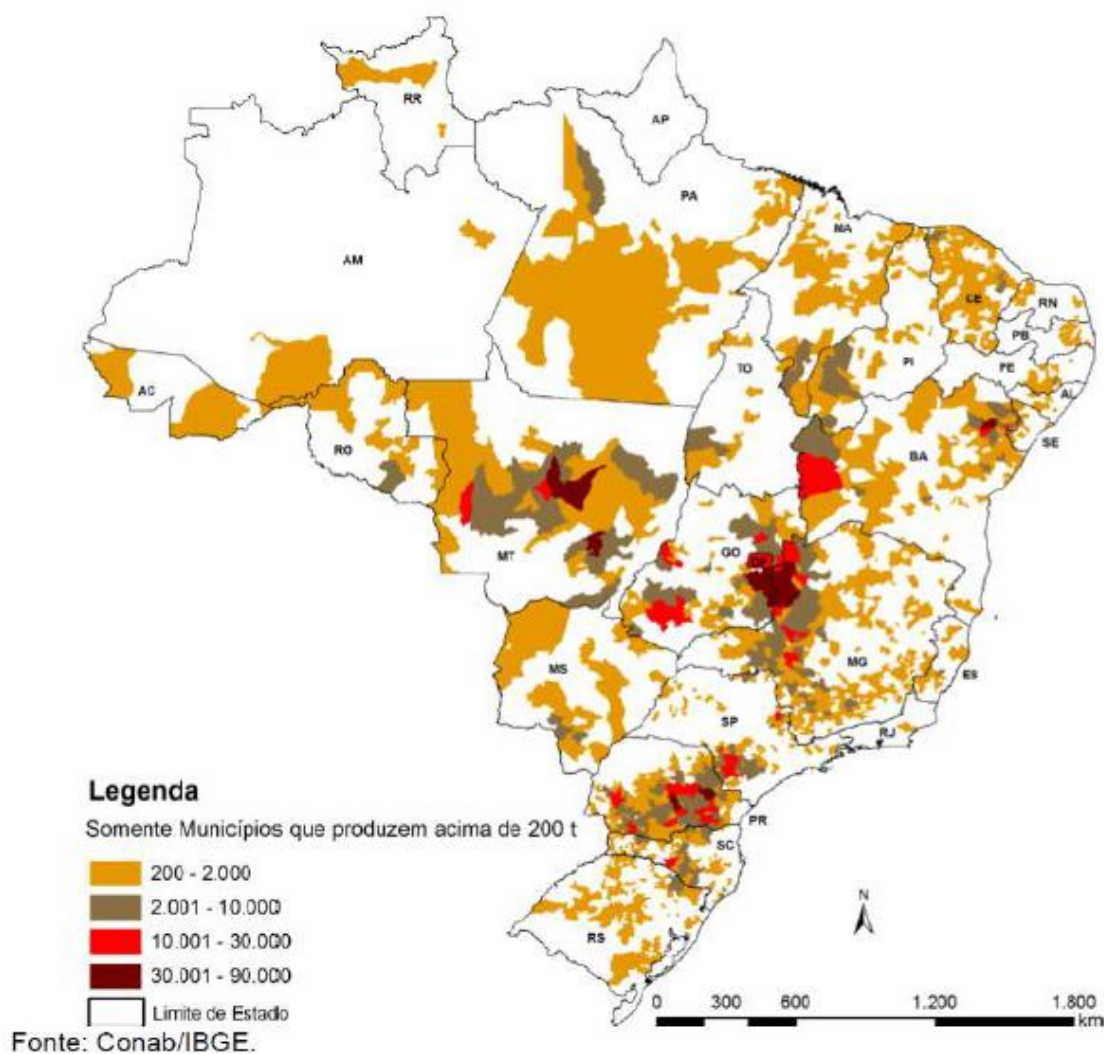


Figura 1. Mapeamento da produção agrícola total de feijão (primeira, segunda e terceira safras) no Brasil. *Fonte:* CONAB (2015).

2.2 Fenologia do feijoeiro

O feijão comum (ou feijão carioca) é originário da América Central e México e foi levado para o velho mundo como planta ornamental após o descobrimento da América (ZIMMERMANN; TEIXEIRA, 1996). Ele apresenta características e componentes que nutricionalmente tornam seu consumo vantajoso, como apontam Costa e Vieira (2000), pois a associação do alto conteúdo proteico e elevado teor de lisina tem efeito complementar as proteínas presentes nos cereais.

Na sua germinação, recomenda-se que a temperatura esteja por volta dos 25°C. Quando as plantas passam por estresse térmico e as temperaturas são inferiores aos 12°C na germinação, o número de plântulas anormais tende a aumentar (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2007).

Por ser uma espécie muito sensível e pouco tolerante a deficiências hídricas, a planta pode apresentar redução do seu ciclo biológico quando submetida a restrições hídricas. Quando o déficit hídrico acontece na fase vegetativa, ocorre uma redução da área assimilatória e a produção de grãos é afetada indiretamente. Porém, a fase mais sensível é durante a floração, pois podem ocorrer o aborto e queda das flores, reduzindo, portanto, o número de vagens por planta. Durante o enchimento, pode ocorrer redução na massa dos grãos devido a insuficiência na fotossíntese. A falta d'água na fase de germinação pode resultar em um estande falho (GUIMARÃES, 1996). Assim como a falta, o excesso de água também gera problemas para a cultura, retardando os processos de maturação dos grãos e favorecendo o aparecimento de doenças, consequentemente reduzindo a sanidade do produto final (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

O feijoeiro é considerado uma planta exigente nutricionalmente em decorrência do sistema radicular superficial e ciclo curto. Portanto, outro fator limitante a produção refere-se a adubação mineral (ABRANTES, 2008). A fase de demanda nutricional mais intensa é na formação de sementes, período que coincide com o início da fase reprodutiva, onde quantidades consideráveis de nutrientes são translocados para a semente (OLIVEIRA; ARAÚJO; DUTRA, 1996), visto que os nutrientes são essenciais para a formação e desenvolvimento de novos órgãos de reserva (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000). Desta forma, a adubação foliar pode ser uma alternativa viável para o fornecimento de manganês para a cultura no início da fase reprodutiva (TEIXEIRA et al, 2004). Tal prática pode ser mais eficiente que o fornecimento via solo, como destacado por Lopes & Souza (2001).

A escala de desenvolvimento de plantas de feijoeiro mais usada, onde o ciclo fisiológico da planta é dividido em fase vegetativa e reprodutiva e constituído por dez etapas, foi proposta por Fancelli e Dourado-Neto (1998) (Tabela 1 e Figura 2).

Tabela 1. Estádios fenológicos da cultura do feijoeiro.

| ESTÁDIO | | DESCRIÇÃO |
|------------------|--|---|
| FASE VEGETATIVA | | |
| V0 | | Germinação/emergência |
| V1 | | Cotilédones ao nível do solo |
| V2 | | Folhas primárias expandidas |
| V3 | | Primeira folha trifoliada |
| V4 | | Terceira folha trifoliada |
| FASE REPRODUTIVA | | |
| R5 | | Botões florais |
| R6 | | Abertura da primeira flor |
| R7 | | Aparecimento das primeiras vagens |
| R8 | | Primeiras vagens cheias |
| R9 | | Modificação da cor das vagens (ponto de maturidade fisiológica) |

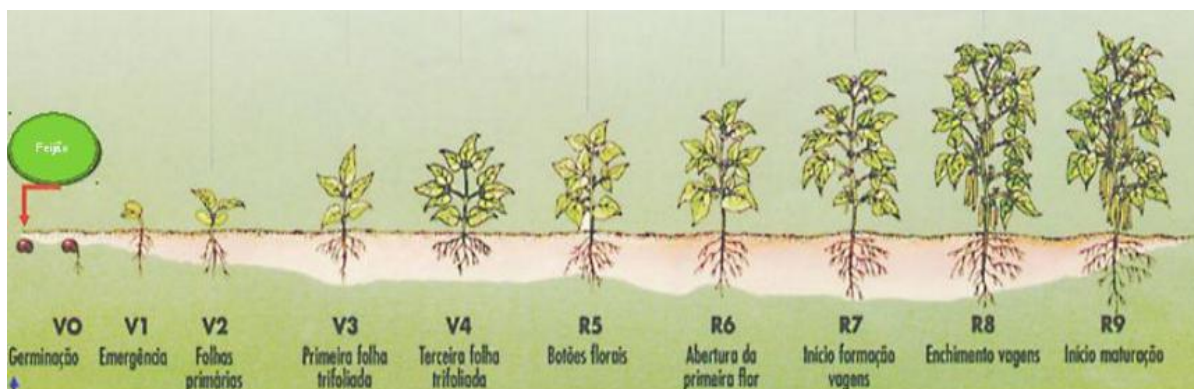


Figura 2. esquema da fenologia do feijoeiro

Fonte: Fancelli e Dourado-Neto (1998).

2.3 Manganês na planta

O Mn é preferencialmente absorvido pelas plantas na forma do íon Mn^{2+} . A taxa de transporte do elemento via floema é responsável pela sua baixa concentração em frutos, sementes e órgãos de reserva das raízes. Por esta razão, folhas tendem a acumular teores crescentes de Mn com o avanço da idade da planta, mas a concentração do elemento pode variar entre as partes das plantas durante o período vegetativo (DECHEN & NACHTIGAL, 2006). Entretanto, os sintomas típicos da deficiência de Mn, que compreendem ampla variedade de formas cloróticas e manchas necróticas, podem ser percebidos tanto em folhas jovens como em

folhas de idade intermediária. Normalmente, sintomas iniciais de clorose internerval, que dependendo da espécie podem aparecer em folhas jovens ou velhas, são sucedidos por lesões necróticas (MENGEL & KIRKBY, 2001). Esta clorose internerval se dá devido à redução na síntese de clorofila (OHKI, 1984). Teores de Mn na massa seca de tecido vegetal variando entre 20 e 500 mg kg⁻¹ são considerados adequados para o pleno desenvolvimento vegetal, enquanto concentrações superiores a 700 mg kg⁻¹ são consideradas tóxicas (DECHEN & NACHTIGAL, 2006).

Dechen & Nachtigall (2006) afirmam que a deficiência de manganês pode reduzir o crescimento das raízes das plantas, visto que ele tem influência direta no conteúdo de carboidratos não estruturais solúveis. O elemento também participa da formação de lignina, presente, sobretudo, na parede celular das sementes, conferindo-las maior permeabilidade e capacidade de absorção de água pelo tegumento. Logo, sementes com baixos teores de lignina podem estar relacionadas à deficiência de Mn (PANOBIANCO et al., 1999). O efeito da deficiência de Mn na cultura do feijão pode refletir-se diretamente no desenvolvimento vegetativo, na produção de grãos, na produção de matéria seca e na concentração do nutriente nos tecidos vegetais.

Parte do diagnóstico nutricional das plantas pode ser dado através da análise da clorofila. A partir da quantificação dos teores de clorofila a e b que a planta possui, pode-se inferir sobre teores de elementos essenciais para tal processo, como é o caso do Mn; essencial na síntese da molécula de clorofila e ativador de importantes enzimas que participam da fotólise da água no fotossistema II (MARSCHNER, 1995).

2.4. Manganês no solo

Sabe-se que o uso de micronutrientes tem sido deixado de lado pela maioria dos produtores. Porém, como destacado por Fontes et al. (1997), com o desenvolvimento de variedades mais produtivas que exportam cada vez mais micronutrientes do solo, o desenvolvimento que a agricultura vem alcançando e a rápida expansão das áreas agrícolas, as deficiências de micronutrientes também tem crescido. Portanto, é fundamental que os teores de micronutrientes do solo se mantenham dentro das faixas adequadas, para a manutenção e garantia de altas produtividades.

A maioria dos estudos com Mn está relacionada com seu efeito fitotóxico, principalmente em condições de alta acidez, comum em solos tropicais intemperizados. Normalmente, para cada diminuição de uma unidade no pH do solo, a disponibilidade de Mn

na solução do solo aumenta 100 vezes (ABREU et al., 2007; CARVALHO, 2016). Entretanto, mesmo nas condições de alta acidez, pode ocorrer deficiência deste nutriente, já que a absorção do Mn pode ser diminuída, entre outros fatores, por altas concentrações de elementos como K, Ca, Mg, Cu, Zn, Na e Fe no meio (FAGERIA, 2001).

Porém, em muitos casos, as deficiências de micronutrientes em geral são atribuídas ao aumento do pH do solo. A prática da calagem é medida indispensável no manejo químico de solos ácidos. A calagem excessiva, má incorporação e, ou, aplicação de doses de calcário acima da dose recomendada (TANAKA et al., 1993) tem causado, em muitos casos, a deficiência induzida de micronutrientes metálicos, como o cobre, ferro, manganês e zinco (TANAKA et al., 1993; PESTANA et al., 2014). Foram relatados recentemente casos de deficiência de Mn em culturas como soja, algodão, arroz e feijão, cultivadas em solos com severas restrições em termos de fertilidade, como as condições que ocorrem em solos da região do Cerrado (TEIXEIRA et al., 2004). Locais onde é praticado o sistema de plantio direto, apresentam manchas de deficiência de Mn, causadas pela má distribuição do corretivo aplicado na superfície (MOTTA & PREVEDELLO, 1995). Mascarenhas et al. (1996) relataram que a utilização intensiva de fosfato no solo também pode contribuir para a baixa disponibilidade do manganês. Martens & Westermamm (1991) destacaram que as diferentes fontes de Mn apresentam pequeno efeito residual, mesmo com a aplicação de altas doses a lanço (60 kg ha⁻¹ de Mn na forma de MnSO₄.3H₂O). Há, portanto, necessidade de reposição do elemento por adubação no sulco de plantio ou foliar para corrigir a deficiência.

2.5. Fontes de manganês

As fontes de micronutrientes utilizadas na correção de deficiência de Mn são agrupadas em inorgânicas, quelatos sintéticos, óxidos silicatados (“fritas”) e complexos orgânicos, diferindo quanto à concentração aproximada do elemento de interesse e quanto a solubilidade. Além destas, tem-se utilizado muito no Brasil formulações NPK enriquecidas com micronutrientes. Estudos de Alcarde & Vale (2003) mostraram que os micronutrientes na forma de DTPA e EDTA tiveram sua solubilidade superior à dos micronutrientes presentes nas formulações NPK.

Ainda não são aprofundados os estudos acerca da eficiência agrônômica de fontes de manganês no país. Entretanto, o maior número de opções de fontes de micronutrientes empregados pelas indústrias são os óxidos silicatados (“fritas”), sobretudo nos produtos FTR-BR, de solubilidade variável de acordo com o tamanho das partículas e com a composição das

matrizes (SÃO JOÃO, 2006). As fontes inorgânicas mais comumente empregadas para fornecer Mn são o sulfato manganoso (26-48 % de Mn, solubilidade de 742 g L⁻¹) e o óxido manganoso (41-68 % de Mn, insolúvel). Formas quelatadas de Mn incluem o Na₂MnEDTA (quelato sintético, 5-12 % de Mn) e os quelatos naturais lignossulfonato e poliflavonoide (5-7% de Mn). Os quelatos são geralmente bastante solúveis, mas dissociam-se muito pouco em solução. Assim, o elemento metálico tende a permanecer ligado ao grupo ligante, permitindo que Cu, Fe, Mn e Zn permaneçam em solução sob condições que normalmente se insolubilizariam (ABREU et al., 2007).

O termo “quelato” é derivado do grego e significa “garra”. Na tecnologia de produção de fertilizantes, quelatos sintéticos são formados pela combinação de um agente quelatizante com um íon metálico (Cu²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺) por meio de ligações coordenadas. O agente quelatizante contém átomos doadores ou grupos que podem combinar com um íon metálico e formar uma estrutura cíclica, chamada complexo quelatizado (Figura 3). Alguns exemplos de agentes quelatizantes mais empregados na fabricação de fontes de micronutrientes incluem o ácidoetilenediaminotetraacético (EDTA) e o ácido dietileno-triaminopentaacético (DTPA).

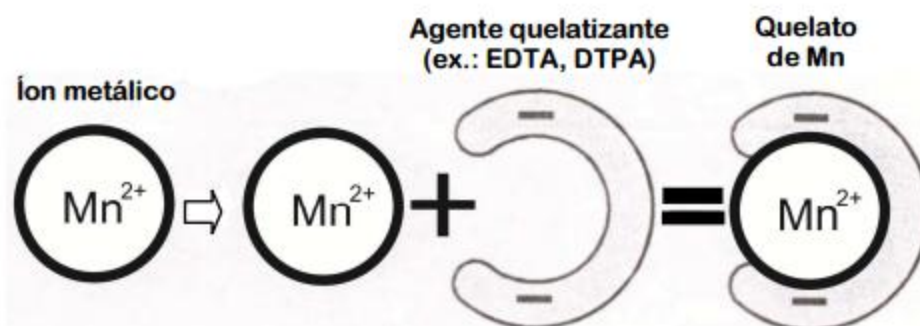


Figura 3. Processo de quelatização do íon manganês (Mn²⁺).

Os compostos formados por EDTA e pelo DTPA são estáveis em ampla faixa de pH e temperatura, solúveis em água e apresentam boa fitocompatibilidade. Normalmente, os quelatos são misturados em fertilizantes fluidos, permitindo a aplicação no solo ou foliar. A quelatização de elementos para adubação via foliar tem o intuito de tornar as formulações estáveis e de eliminar ou diminuir a reatividade dos nutrientes metálicos em solução. As espécies quelatizadas tem entrada facilitada pela cutícula e pelas paredes celulares devido à eliminação das cargas elétricas dos cátions metálicos. Segundo Rosolen (2002), o transporte dos macronutrientes primários normalmente é muito mais intenso do que os micronutrientes. Desta forma, o transporte dos micronutrientes se torna mais eficiente quando estes estão em formas quelatizadas. Quando aplicado de forma convencional na planta, via foliar, o Mn demora cerca

de dois dias para ser absorvido. Na forma quelatizada, com EDTA, esse tempo diminui drasticamente, passando para menos de uma hora até que todo o nutriente seja absorvido (BALLAGRO, 2016).

Ferrandon e Chamel (1988) relataram que a absorção do Mn na forma quelatizada com EDTA por folhas de tomateiro superou significativamente (em porcentagem de translocação e absorção) outras formas sulfetadas ou com outros tipos de quelatizantes. Santos et al. (1999) também observaram maiores teores de Mn foliar em plantas de citros que receberam o elemento na forma de produtos comerciais quelatizados. Além disso, os elementos quelatizados permanecem na solução quando presentes no solo, não sendo adsorvidos (MALAVOLTA et al., 2002).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, no CCA/UFSCar – *campus* Araras (22°18'56"S; 47°23'20"W; 650 m de altitude), no período de fevereiro de 2016 a abril de 2016. O ambiente é equipado com nebulizadores para a manutenção da umidade relativa do ar na faixa de 60%.

3.1. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com esquema fatorial 3x3+1, sendo três fontes e três doses de Mn, mais uma testemunha sem nenhum tipo de adubação com Mn. Cada tratamento foi composto de quatro repetições, totalizando 40 parcelas.

3.2. Cultivar escolhida

Foi utilizado um híbrido de feijão carioca comum (*Phaseolus vulgaris* L.), chamado de TAA Bola Cheia, desenvolvido pela Agropecuária Terra Alta Ltda.. A hibridação ocorreu entre as cultivares WB-SR9903 e IAPAR 31.

As características agronômicas deste feijão são as seguintes: ciclo intermediário, maturação ocorrendo entre os 80 e 90 dias, hábito de crescimento indeterminado, de porte prostrado, flor totalmente branca, vagem e tegumento beges e população por hectare recomendada de 200.000 plantas, com potencial produtivo variando entre 4.000 e 4.500 kg ha⁻¹. Em relação a doenças, é moderadamente suscetível à antracnose e à mancha angular, tolerante ao crestamento bacteriano e à murcha de *Fusarium*, moderadamente resistente ao mosaico dourado e oídio, e resistente ao mosaico comum (SEPROTEC, 2016).

3.3. Preparo do solo e calagem

O solo para o cultivo do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) foi coletado em área agrícola da Usina Santa Lúcia – Araras/SP, classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) (EMBRAPA, 2013), de textura média. Foi conduzida uma análise química completa para fins de fertilidade do solo, contendo os seguintes parâmetros (RAIJ et al., 2001): pH (CaCl₂), matéria orgânica, teores de P, Ca, Mg, K, Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn, acidez potencial (H+Al), capacidade de troca de cátions total (CTCt), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e saturação por Al (m%) (Tabela 2).

Tabela 2. Características químicas e granulométricas de LATOSSOLO VERMELHO distrófico, coletado de área agrícola na profundidade de 0-20 cm.

| P resina | MO | pH | K | Ca | Mg | H+Al | Al | SB | CTC | V |
|--------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|----|----|------|-----|----|-----|----|
| mg/dm ³ | g/dm ³ | CaCl ₂ | mmol _c /dm ³ | | | | % | | | |
| 4 | 7 | 4,2 | 0 | 7 | 3 | 24 | 4,1 | 10 | 34 | 29 |

| M | S | B | Cu | Fe | Mn | Zn | Argila | Areia | Silte |
|------|----|------|--------------------|----|----|-----|--------|-------|-------|
| % | | | mg/dm ³ | | | | g/kg | | |
| 29,1 | 57 | 0,01 | 0 | 14 | 2 | 0,6 | 160 | 790 | 50 |

A condição ótima de saturação de bases (V%) exigida pela cultura do feijão é de 70%, indicada por Raij et al. (1996). Para satisfazer tal condição, o solo foi submetido a incubação com calcário dolomítico (PRNT = 85,6%), visando proporcionar condições ideais de cultivo para o feijoeiro. Foi calculada a quantidade de calcário pelo método de saturação de bases proposto por Raij et al. (1996), resultando em 1,6 tha⁻¹. Após o período de reação do calcário (cerca de 50 dias), o solo foi transferido para vasos com volume de 2,7 dm³.

3.4. Adubação de plantio e cobertura

Após o período de reação do calcário, nova análise laboratorial para fins de fertilidade do solo foi feita (Tabela 3), para que a adubação pudesse ser calculada com base nos teores de nutrientes do solo (RAIJ et al, 1996). Desta forma, todos os vasos receberam a mesma adubação com nitrogênio, fósforo e potássio.

Tabela 3. Características químicas do LATOSSOLO VERMELHO distrófico após correção com calcário.

| P resina | MO | pH | K | Ca | Mg | H+Al | SB | CTC | V | Mn |
|--------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|----|----|------|------|------|--------------------|-----|
| mg/dm ³ | g/dm ³ | CaCl ₂ | mmol _c /dm ³ | | | | % | | mg/dm ³ | |
| 1 | 8 | 4,9 | 0,8 | 11 | 7 | 19 | 18,4 | 37,4 | 59 | 1,1 |

No plantio foram adicionados ao solo 50 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio (20% N; 10 kg ha⁻¹ N); 390 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (18% de P₂O₅; 70 kg ha⁻¹ P₂O₅) e 52 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (58% K₂O; 30 kg ha⁻¹ K₂O).

Para a adubação de cobertura, feita aos 20 dias após a emergência (DAE), foram adicionados ao solo 250 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio (20% N; 50 kg ha⁻¹ N) e 34 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (58% K₂O; 20 kg ha⁻¹ K₂O).

3.5. Fontes de manganês e disposição dos tratamentos

Foram testadas as seguintes fontes de manganês: sulfato de Mn ($\text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), aplicado via solo, PICK-up Mn EDTA - Ballagro® (Mn quelatizado por EDTA) e Ager Manganês - Microquímica® (MnCl_2), ambos aplicados via foliar.

O sulfato de Mn foi aplicado no solo na ocasião do plantio, nas seguintes dosagens: 2,5; 5,0; 10,0 kg ha^{-1} , conforme limites de interpretação de teores baixo, médio e alto de Mn (RAIJ et al., 1996).

O PICK-up Mn EDTA – Ballagro® foi fornecido via foliar, nas seguintes dosagens: 0,85 kg ha^{-1} , que corresponde à dose recomendada pelo fabricante (DR) para a cultura; 0,425 kg ha^{-1} (0,5 x DR) e; 1,7 kg ha^{-1} (2 x DR). Realizou-se apenas uma aplicação foliar, aos 30 DAE.

O Ager Manganês Microquímica® (MnCl_2) também foi fornecido via foliar, nas seguintes dosagens: 600 mL ha^{-1} , que corresponde à dose recomendada pelo fabricante (DR) para a cultura; 300 mL ha^{-1} (0,5 x DR) e; 1200 mL ha^{-1} (2 x DR). A aplicação foi única, aos 30 DAE.

Desta forma, o experimento foi composto pelos seguintes tratamentos:

T0: tratamento testemunha, sem nenhuma adubação com Mn;

T1: sulfato de Mn aplicado via solo na dosagem de 2,5 kg ha^{-1} ;

T2: sulfato de Mn aplicado via solo na dosagem de 5,0 kg ha^{-1} ;

T3: sulfato de Mn aplicado via solo na dosagem de 10,0 kg ha^{-1} ;

T4: PICK-up Mn EDTA aplicado via foliar na dosagem de 0,425 kg ha^{-1} ;

T5: PICK-up Mn EDTA aplicado via foliar na dosagem de 0,85 kg ha^{-1} ;

T6: PICK-up Mn EDTA aplicado via foliar na dosagem de 1,7 kg ha^{-1} ;

T7: Ager Manganês (MnCl_2) aplicado via foliar na dosagem de 300 ml ha^{-1} ;

T8: Ager Manganês (MnCl_2) aplicado via foliar na dosagem de 600 ml ha^{-1} ;

T9: Ager Manganês (MnCl_2) aplicado via foliar na dosagem de 1200 ml ha^{-1} .

Os valores correspondentes em Mn para as doses recomendadas são os seguintes: 1,34 kg ha^{-1} de Mn para o sulfato de Mn; 0,106 kg ha^{-1} de Mn para o Mn EDTA; 84 ml ha^{-1} de Mn para o cloreto de Mn.

3.6. Tratos culturais

Foram plantadas quatro sementes de feijão por vaso, para garantir que todos os vasos tivessem ao menos uma planta sadia para se conduzir o trabalho. Aos 10 DAE, foram retiradas

duas plantas menos vigorosas e aos 15 DAE retirou-se mais uma, restando somente uma planta mais vigorosa por vaso.

As sementes foram tratadas com inoculante específico para feijão (*Rhizobium tropici*) Biomax® Premium turfa feijão, na dosagem de 2g kg⁻¹ de sementes, diluído em água açucarada (10%), conforme recomendado por Raij (1996), para garantir melhor fixação de nitrogênio.

As plantas foram tutoradas com fitilhos a partir dos 25 DAE, para que fosse possível individualiza-las sem riscos das plantas se entrelaçarem.

A irrigação foi mantida diariamente, sendo que nos dias mais quentes e quando necessário, essa operação se repetia por mais uma vez. Plantas invasoras que eventualmente nasceram nos vasos foram retiradas manualmente.

3.7. Avaliações e colheita das plantas

As plantas foram colhidas aos 60 DAE, período que coincide com o final do período de maior absorção, extração e acúmulo dos micronutrientes pelo feijoeiro (VIEIRA, 2006). As plantas estavam no estágio R7, caracterizado pela formação das vagens (aparecimento da primeira vagem até 2,5 cm de comprimento) (FANCELLI & DOURADO NETO, 1997).

Foram coletadas, neste mesmo período, todas as folhas de todas as plantas, para determinação do teor foliar de Mn, de acordo com Bataglia et al. (1983). Mesmo que Raij et al (1996) recomende que as folhas diagnoses devam ser retiradas no florescimento (por volta dos 50 DAE), optou-se por atrasar essa coleta para que todos os micronutrientes, em especial o Mn, possam ter sido absorvidos, extraídos e acumulados na planta.

Por procedimentos semelhantes aos empregados por SALGADO et al. (2012), foram quantificados os índices de clorofila (a, b e total = a + b), expressos em unidade denominada Índice de Clorofila Falker (ICF). Conforme Falker (2008), o ICF resulta de unidades adimensionais existentes nas folhas, utilizando-se método indireto, por meio de leitura efetuada em clorofilômetro portátil ClorofiLOG®, modelo CFL 1030, que utiliza emissores em três comprimentos de onda: dois dentro da banda do vermelho, próximos aos picos de cada tipo de clorofila (635 nm para clorofila b e 660 nm para clorofila a), e outro no infravermelho próximo (880 nm). As leituras foram realizadas aos 60 DAE, nas três folhas do trifólio central da planta. Desta forma, tomou-se três leituras por planta, em todas as plantas de cada tratamento. A câmara do equipamento previamente calibrado foi posicionada na parte adaxial do limbo foliar.

Informações biométricas do desenvolvimento das cultivares de feijão foram obtidas pelos seguintes parâmetros:

a) Comprimento da haste principal: determinada com trena a partir do colo da planta até a última inserção foliar (PRAZERES, 2012);

b) Diâmetro do caule: determinado com paquímetro na altura dos cotilédones da planta (PRAZERES, 2012);

c) Área foliar total da planta: medida dos quatro trifólios centrais das plantas com o medidor "Area Meter" (Licor Inc., Lincoln, Nebraska, US), modelo LICOR LI- 3000 (QUEIROGA et al., 2003);

d) Biomassa fresca e seca da parte aérea: a parte aérea será seccionada na altura do colo das plantas. Parte aérea será seca em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 70° C por 72 h, e posteriormente pesados em balança analítica de alta precisão (BOARETTO et al., 2009);

e) Contagem do número de vagens de cada planta em todos os tratamentos.

Após a coleta das plantas e com auxílio de minissonda de aço inox, foi feita a coleta de subamostras de solo (cada repetição), de forma a compor uma amostra composta de cada tratamento, que foram encaminhadas para análise química para fins de fertilidade.

3.8. Forma de análise dos resultados

Os resultados de parâmetros biométricos obtidos dos diferentes tratamentos com fontes e doses de Mn foram submetidos à análise de variância e, havendo significância pelo teste *F* a 5% de probabilidade, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de *Tukey*, a 5% de probabilidade. Variações dos parâmetros biométricos em função das doses de Mn foram ajustadas por análise de regressão, com significância a 5%. Os teores de Mn das folhas diagnósticas foram correlacionados com as medidas dos índices de clorofila. O grau de dependência entre as variáveis foi avaliado pela significância estatística do coeficiente de correlação (*r*). As análises estatísticas foram feitas com o auxílio dos programas StatisticaTM 7.0, OriginPro® e Assistat.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliações biométricas

Os resultados obtidos das avaliações biométricas das plantas de feijoeiro submetidas a diferentes fontes e doses de Mn estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Características biométricas de feijão cultivado sob diferentes fontes e doses de manganês ⁽¹⁾.

| Dose | Nº de vagens | Diâmetro do caule (mm) | Altura da planta (m) | Clorofila total (ICF) | Área foliar (cm ²) | MSPA (g) |
|---------------------------------|---------------|------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------|
| Sulfato de manganês | | | | | | |
| 0,5 | 5,75 | 3,63 | 1,90 | 23,60 | 703,58 ABa | 20,73 |
| 1 | 6,25 | 3,52 | 2,32 | 28,20 | 646,33 Aa | 21,75 |
| 2 | 3,75 | 3,75 | 1,66 | 29,93 | 737,84 Aba | 18,55 |
| Média | 5,25 a | 3,63 | 1,96 | 27,24 b | 695,92 | 20,34 ab |
| Regressão ⁽²⁾ | Q* | Q* | Q* | Q* | Q* | Q* |
| Manganês EDTA | | | | | | |
| 0,5 | 6,00 | 3,65 | 1,98 | 29,00 | 754,86 Aa | 22,08 |
| 1 | 6,00 | 3,29 | 1,95 | 29,68 | 657,61 Aa | 22,50 |
| 2 | 6,75 | 3,56 | 2,22 | 42,50 | 609,26 Ba | 20,98 |
| Média | 6,25 a | 3,50 | 2,05 | 33,73 a | 673,91 | 21,85 a |
| Regressão | Q* | Q* | Q* | Q* | Q* | Q* |
| Cloreto de manganês | | | | | | |
| 0,5 | 4,00 | 3,73 | 1,73 | 33,83 | 597,41 Bb | 17,23 |
| 1 | 3,50 | 3,45 | 1,88 | 27,53 | 533,16 Ab | 18,43 |
| 2 | 3,75 | 3,52 | 2,18 | 34,28 | 791,71 Aa | 20,20 |
| Média | 3,75 b | 3,56 | 1,93 | 31,88 ab | 640,76 | 18,62 b |
| Regressão | Q* | Q* | Q* | Q* | Q* | Q* |
| Média das doses | | | | | | |
| 0,5 | 5,25 A | 3,67 A | 1,87 A | 28,81 B | 685,28 AB | 20,01 A |
| 1 | 5,25 A | 3,42 B | 2,05 A | 28,47 B | 612,37 B | 20,89 A |
| 2 | 4,75 A | 3,61 AB | 2,02 A | 35,57 A | 712,94 A | 19,91 A |
| Média da testemunha | | | | | | |
| | 5,75 ns | 3,67 ns | 1,44 * | 35,28 ns | 689,58 ns | 20,53 ns |
| CV (%) | 15,11% | 5,52% | 22,04% | 19,92% | 12,96% | 12,90% |
| Teste F – ANOVA | | | | | | |
| Fonte (F) | 7,91 ** | 1,37 ns | 0,26 ns | 3,42 * | 1,22 ns | 4,58 * |
| Dose (D) | 0,93 ns | 5,17 * | 0,60 ns | 4,92 * | 4,27* | 0,51 ns |
| F x D | 1,18 ns | 0,97ns | 1,70 ns | 1,77 ns | 4,65 ** | 1,35 ns |
| F x D x Test | 0,77 ns | 0,97 ns | 5,82* | 1,72 ns | 0,17 ns | 0,03ns |

Comparação de médias pelo teste de Tukey (P<0,05): letras maiúsculas comparam doses dentro de cada fonte e médias de doses; letras minúsculas comparam fontes dentro de cada dose e médias de fontes. ns: diferença

não-significativa entre controle e o fatorial pelo teste F ($P>0,01$). *Diferença significativa entre o controle e o fatorial pelo teste F ($P>0,05$). **Diferença significativa entre o controle e o fatorial pelo teste F ($P>0,01$).
(²) Efeito linear quadrático (Q) significativo a 5% (*), respectivamente, pelo teste F.

O ajuste polinomial mais adequado para explicar a variação dos resultados foi o quadrático, significativo a 5% pelo teste F, para todas as variáveis em todas as fontes de Mn testadas. É importante ressaltar que houve boa precisão experimental, indicada pelos baixos valores de coeficiente de variação.

4.1.1. Número de vagens

Não houve interação significativa entre fontes e doses de manganês para este parâmetro. Também não se observou interação significativa com o tratamento testemunha. Constatou-se efeitos isolados significativos somente para o fator fonte.

A aplicação de Mn EDTA proporcionou maior número de vagens por planta, o que reflete em maior produtividade. Resultados semelhantes foram obtidos por Fernandes et al. (2007), que notaram aumento de 7% no número de vagens de feijão das plantas da cultivar Pérola submetidas a aplicação foliar de 258 g ha⁻¹ de Mn. O aumento do número de vagens relatado por Teixeira et al. (2000) com aplicação foliar de 340g ha⁻¹ de Mn em plantas da mesma cultivar foi de 22%.

Plantas que apresentaram menor número de vagens foram aquelas submetidas ao tratamento com MnCl₂. Neste caso, pode ter havido a influência do íon cloreto nas plantas, que tiveram seus botões florais abortados devido aos efeitos da salinidade. Além disso, a fonte aplicada pode ter causado toxidez nas plantas devido a presença do íon cloreto, conforme observado por Rosolem e Ferelli (2000) em plantas de algodão tratadas com Mn. Plantas submetidas às concentrações mais altas de MnCl₂, apresentaram queda das suas estruturas reprodutivas.

O coeficiente de regressão para todas as fontes foi muito próximo de 1, o que mostra ótimo ajuste polinomial (Figura 4). As doses 0,5 x DR e DR apresentaram resultados muito semelhantes para as fontes Mn EDTA e Sulfato de Mn. Porém, quando a aplicação foi feita com o dobro da dose recomendada, a fonte que melhor se destacou foi o Mn EDTA.

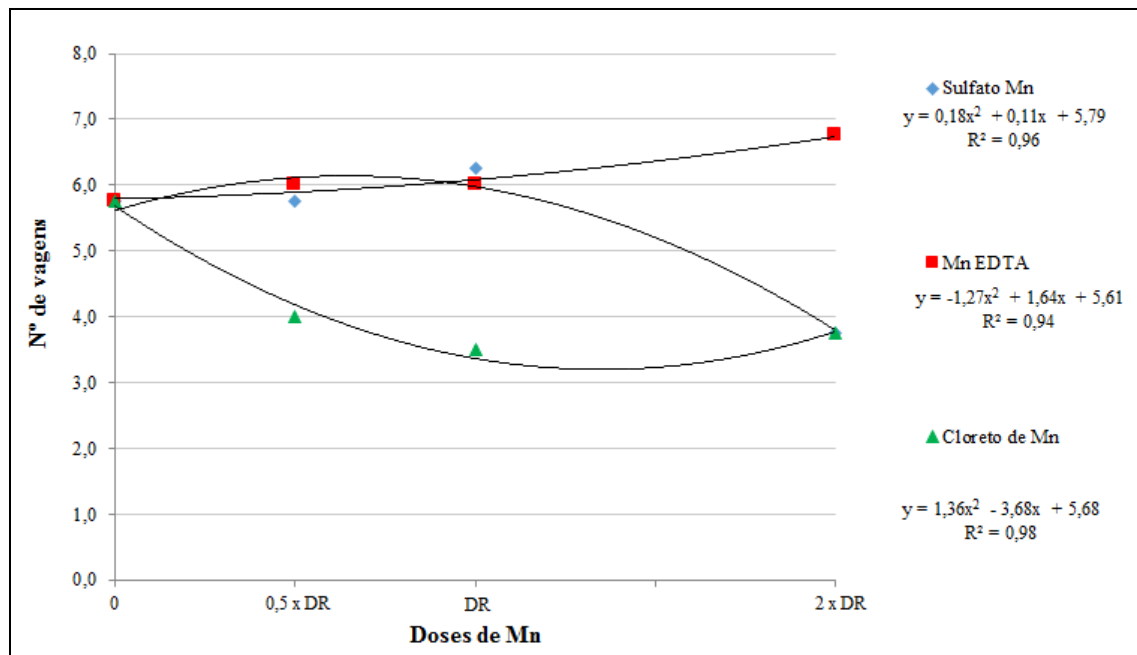


Figura 4. Gráfico de regressão polinomial do número de vagens de plantas de feijoeiro submetidas a diferentes fontes e doses de Mn.

4.1.2. Diâmetro do caule

Interações significativas entre fontes e doses e entre os fatores com a testemunha, não foram observadas para tal parâmetro. Houve diferenças significativas para o fator dose. Em média, a dose que resultou em plantas com maiores diâmetros e se apresentou significativamente maior foi a metade da dose recomendada (0,5 x DR).

Em relação ao diâmetro do caule, não houve diferenças estatísticas entre plantas submetidas as diferentes fontes. Estudos feitos com mudas de cacauete determinaram que a aplicação de manganês na forma de $MnCl_2$ em diferentes concentrações não resultou em acréscimo no diâmetro nas plantas (CHAVES, 2014), concordando com o presente trabalho.

Esses resultados confrontam os obtidos por Freitas (2008), que demonstraram que o acréscimo de Mn em mudas de carambola cultivadas em solução nutritiva proporcionou maiores médias no diâmetro, tanto do porta-enxerto quanto do enxerto. No trabalho citado, a dose na qual as plantas melhor se expressaram foi de 0,5 mg L^{-1} de Mn, que foi a chamada de dose padrão, ou recomendada.

Bennet et al. (2011), testando fontes e doses de Mn na cana-planta e cana-soca, notaram que não houve efeitos significativos no diâmetro dos colmos em função das diferentes fontes (sulfato, quelato e fritas). Entretanto, este parâmetro foi afetado significativamente com as

diferentes doses empregadas, que variaram de 0 a 10 kg ha⁻¹ de Mn. A dose de máximo diâmetro do colmo foi a de 6,6 kg ha⁻¹ de Mn.

Não se encontram na literatura trabalhos que evidenciem esse parâmetro em leguminosas anuais. Como já citado, os resultados obtidos são em sua maioria com mudas de espécies frutíferas.

Na Figura 5, nota-se que o comportamento das curvas foi parecido para todas as fontes testadas, sendo que houve ligeiro decréscimo no diâmetro das plantas submetidas ao cloreto de Mn. Pode ser observado ainda que a dose 0,5 x DR foi que se apresentou melhor estatisticamente para todas as fontes, com resultados muito semelhantes, conforme apresentado na Tabela 4.

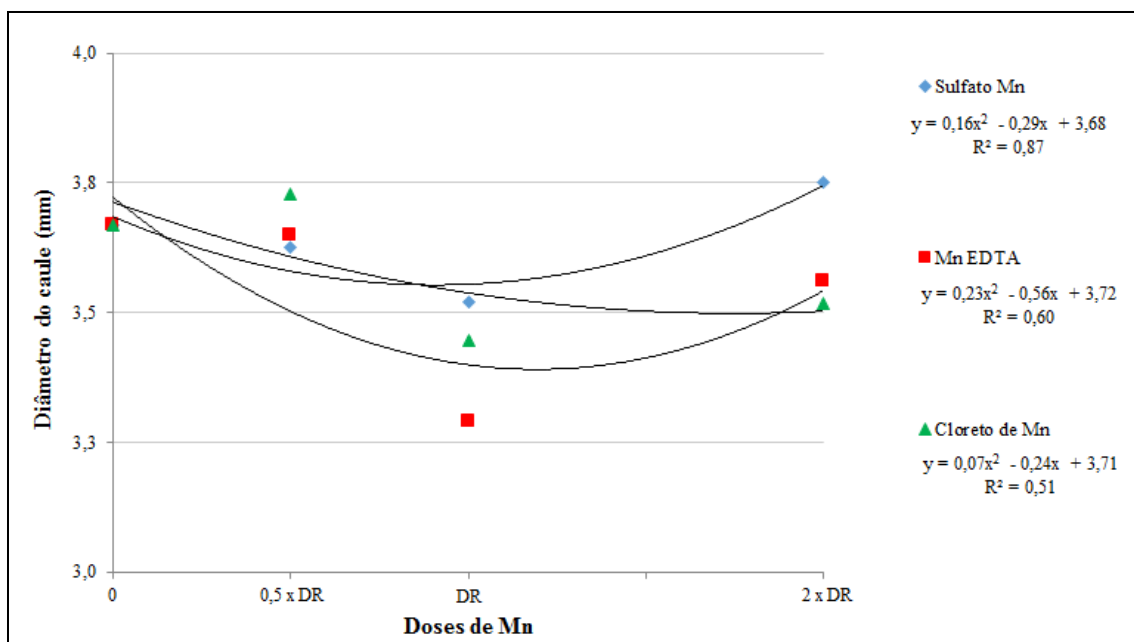


Figura 5. Gráfico de regressão polinomial do diâmetro do caule de plantas de feijoeiro submetidas a diferentes fontes e doses de Mn.

4.1.3. Altura de plantas

Foi constatado diferença significativa somente em relação ao tratamento testemunha. Não houve interação estatística significativa entre fontes e doses e não houve efeitos isolados dos fatores em questão.

O parâmetro altura foi sensível a aplicação de manganês e as plantas submetidas ao tratamento com o micronutriente apresentaram médias diferindo em até 80 cm do tratamento testemunha, sem nenhuma adição de fonte manganesiana.

Mann et al. (2001) apontaram que a cultura da soja, por ser uma leguminosa assim como o feijão, é muito responsiva a aplicações de Mn. Tanto nos tratamentos que receberam manganês via solo, quanto tratamentos onde o nutriente foi fornecido via foliar, os autores notaram que a altura das plantas foi superior ao tratamento testemunha quando a aplicação foi feita nos estádios V4 e V8 da cultura. Isso mostra que a adição do nutriente estudado, independentemente da fonte e da dose, resulta em plantas maiores, que podem ter, conseqüentemente, maior número de nós, ramos e vagens, refletindo em uma maior produtividade.

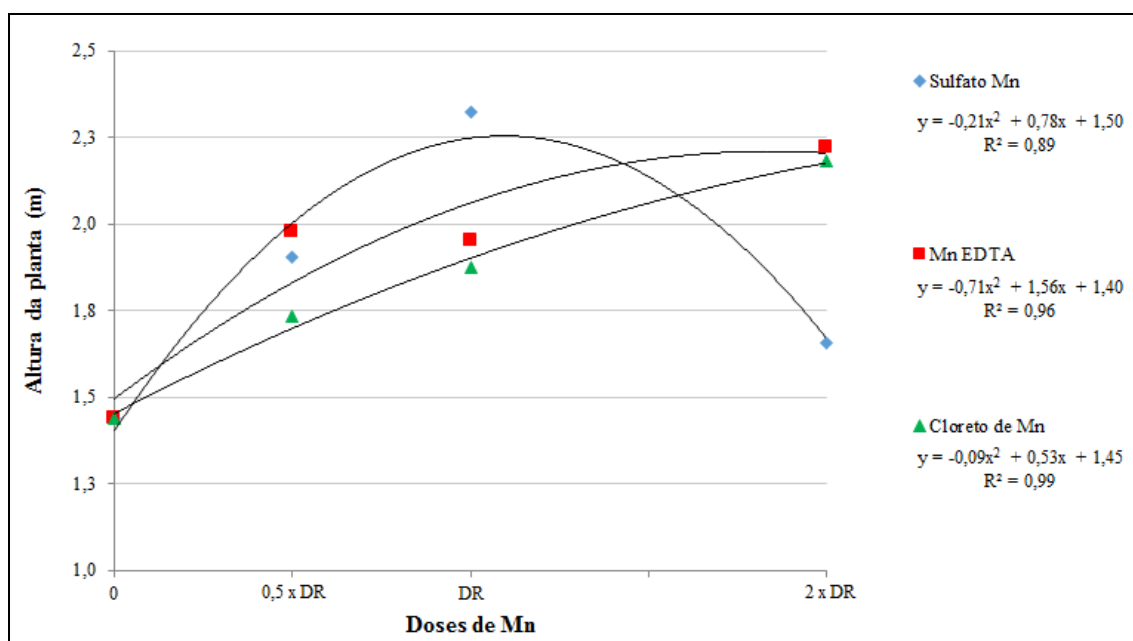


Figura 6. Gráfico de regressão polinomial da altura de plantas de feijoeiro submetidas a diferentes fontes e doses de Mn.

Notou-se que as mesmas plantas atingiram alturas semelhantes quando submetidas a DR do $MnSO_4$ ($1,34 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mn), 2xDR do Mn EDTA ($0,212 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mn) e 2 x DR do $MnCl_2$ ($0,168 \text{ L ha}^{-1}$ de Mn) (Figura 6). Portanto, quantidades 6x e 8x menores, respectivamente, de Mn EDTA e de $MnCl_2$ foram aplicadas para resultar em alturas semelhantes às plantas cultivadas com $MnSO_4$. Os coeficientes de correlação foram altos, mostrando que a regressão foi bem ajustada. A curva que representa a fonte sulfato de manganês apresentou comportamento diferente das demais curvas que representam fontes aplicadas via foliar.

4.1.4. Clorofila total

Não houve diferenças significativas na interação dos fatores fonte e dose para este parâmetro. Porém, efeitos isolados de fontes e de doses foram observados. A fonte que melhor

apresentou resultados foi a de Mn quelatizado com EDTA e a dose de melhor resposta foi a dose 2 x DR (Figura 7).

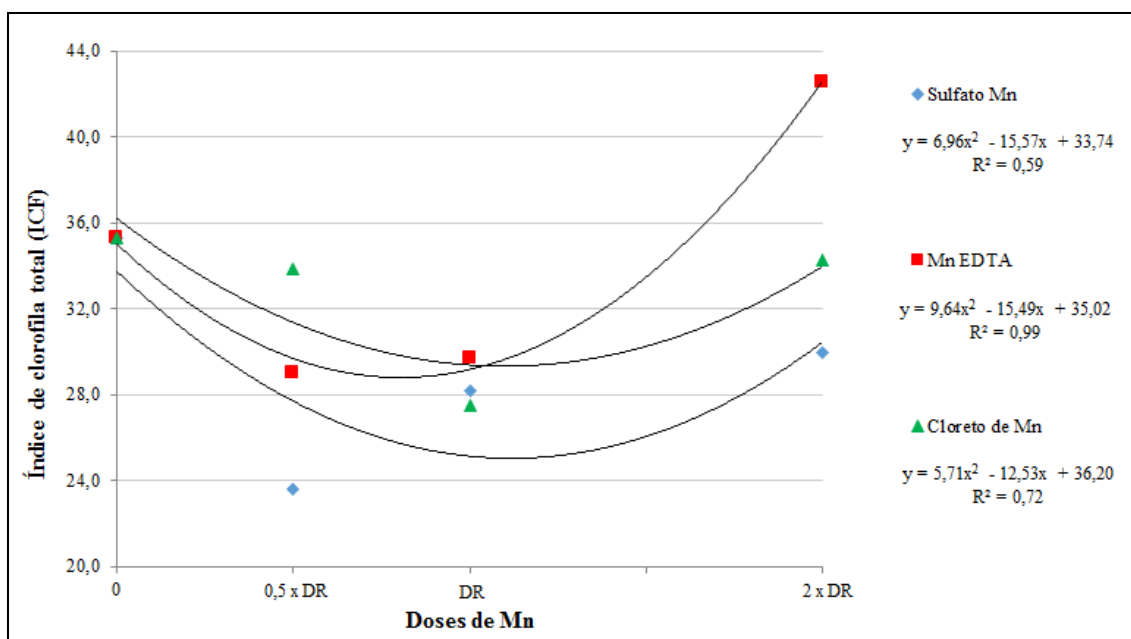


Figura 7. Gráfico de regressão polinomial do índice de clorofila total de plantas de feijoeiro submetidas a diferentes fontes e doses de Mn.

Os índices de clorofila total (clorofila a + clorofila b) foram significativamente maiores nas plantas que receberam Mn via foliar, evidenciando que esta forma de aplicação pode ser mais facilmente assimilada pelas plantas. Nestas condições, o Mn pode expressar melhor suas funções no metabolismo vegetal. Como este nutriente é essencial para a fotossíntese e tal processo reflete em níveis de clorofila nas plantas, aquelas que tiverem melhor supridas em Mn, expressarão maiores teores de clorofila total.

Como apontado por Rigon et al. (2012), as quantificações de índices de clorofila feitas por clorofilômetros portáteis apresentaram similaridade muito grande com as técnicas de quantificação destrutivas laboratoriais, chegando a valores de coeficiente de correlação de 0,98. Assim, asseguram-se os níveis apresentados no presente trabalho.

Teixeira et al. (2004) relataram que leituras de clorofila em plantas de feijão, feitas com o aparelho SPAD 502, mostraram-se influenciadas pela presença de manganês, o que pode ser explicado pelo fato deste nutriente estar diretamente envolvido na composição da molécula de clorofila. O trabalho dos autores foi feito em campo e casa de vegetação, e, em ambos, os resultados foram parecidos empregando-se aplicação foliar, o que sugere baixa capacidade do solo em fornecer este nutriente. Porém, a maior dose de Mn estudada (600 g ha^{-1} aplicada via

foliar em dose única) resultou em um decréscimo médio no teor de clorofila, mostrando que, certamente, uma elevada concentração do nutriente acarretou em prejuízos no metabolismo normal da clorofila. Entretanto, no presente estudo, não foi constatado decréscimo nos teores de clorofila para nenhuma fonte com o aumento das doses.

Pode-se estabelecer uma relação entre os teores de clorofila e área foliar das plantas, uma vez que com menor área foliar, a transpiração é reduzida. Esta redução reflete em queda na absorção de CO₂ e na interceptação de luz (MATTOS et al, 2005). A clorofila, sendo o principal pigmento responsável por captar energia luminosa utilizada no processo de fotossíntese, constitui um dos principais fatores relacionados a eficiência fotossintética e a adaptabilidade das plantas a diferentes situações. Qualquer alteração no processo fotossintético torna-se fator determinante na produção agrícola (BASTOS, 2012). O teor de clorofila total de uma planta é característica de grande importância, pois indica a eficiência na absorção de radiação solar pelas folhas, que resulta em maior taxa fotossintética e, conseqüentemente, em maiores produtividades de grãos.

Nota-se na Figura 7 que os tratamentos resultaram em comportamentos semelhantes quando comparados pela regressão polinomial, evidenciando que a dose 2 x DR foi a mais expressiva para este parâmetro em todas as fontes.

4.1.5. Área foliar

Houve interação significativa entre os fatores fontes e doses de Mn. Efeitos isolados também foram significativos para o parâmetro dose, sendo que a dose que melhor respondeu para este parâmetro foi a 2 x DR, melhor expressada nas fontes sulfato de Mn e Mn EDTA. Não foi constatado efeito de fontes e também não houve interação com a testemunha.

Apesar de não significativos os efeitos de fontes, notou-se que, em média, as plantas tratadas com cloreto de Mn apresentaram área foliar reduzida. Essa redução se deve ao fato de o íon cloreto poder ocasionar aumento da salinidade do meio, apesar disso depender muito da concentração. Segundo Yeo et al. (1985), um dos efeitos mais comuns da salinidade no tecido vegetal, dentre outros, é a redução da área foliar da planta. Ao estudar o comportamento de cultivares de melão sob condições de alta salinidade, Rocha et al. (2000) notaram que a área foliar da planta e sua biomassa reduziam progressivamente, conforme o aumento do nível de salinidade. Fazendo-se um comparativo com o presente trabalho, pode-se observar que as plantas que resultaram em menor biomassa seca também foram as do mesmo tratamento com cloreto de manganês (Tabela 4), mostrando resultados parecidos com os de Rocha et al. (2000).

Foi possível observar pelas equações de regressão (Figura 8), que houve diferenças entre os resultados e os coeficientes de correlação não foram tão altos para as fontes sulfato de Mn e Mn EDTA. Todas as fontes se comportaram de maneiras diferentes e o mesmo pode ser notado para as doses, onde os maiores índices de área foliar, para determinadas fontes, foram expressados pela dose 2 x DR. O comportamento do Mn EDTA foi bastante atípico para este parâmetro, mostrando que, a dose onde a área foliar melhor se expressou foi 0,5 x DR, evidenciando a alta eficiência da fonte para tal parâmetro. Jadoski (2003) avaliando a maximização de rendimento de grãos em plantas de feijão, obteve uma relação positiva entre rendimento e índice de área foliar, evidenciando que plantas com maiores áreas foliares podem refletir em maiores rendimentos de grãos.

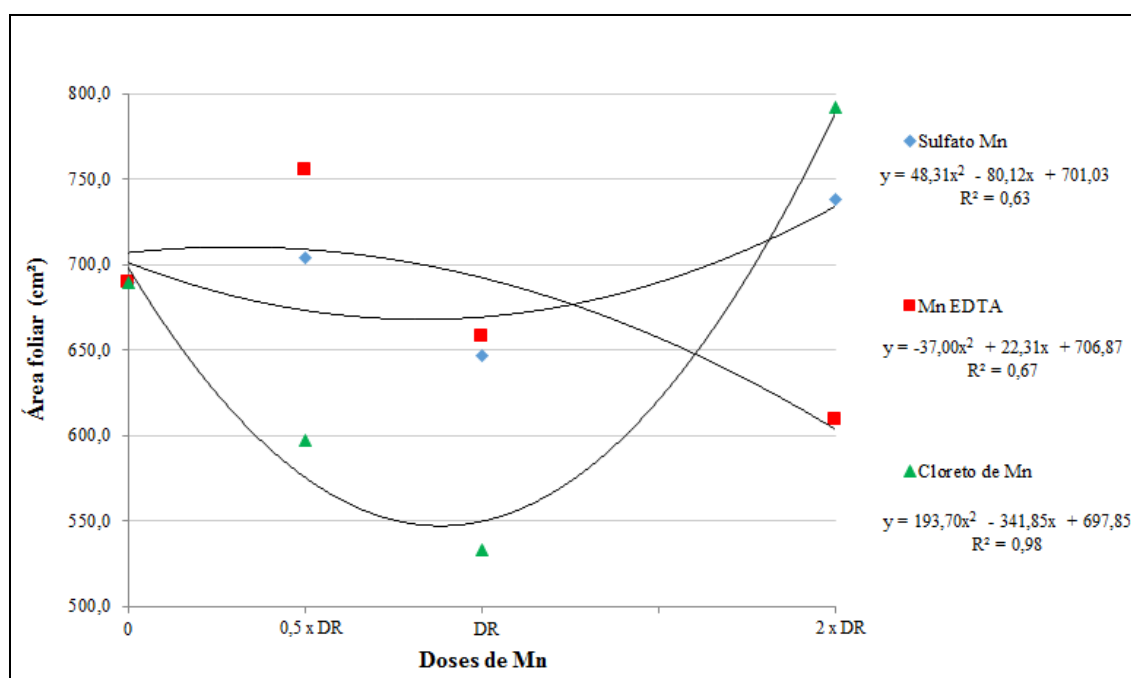


Figura 8. Gráfico de regressão polinomial da área foliar de plantas de feijoeiro submetidas a diferentes fontes e doses de Mn.

Observando-se o gráfico da interação para o parâmetro “área foliar” (Figura 9), notou-se que para as fontes sulfato de Mn e Mn EDTA, as doses não diferiram entre si. A dose mais responsiva para o parâmetro área foliar foi DR para Mn EDTA e 2 x DR para cloreto de Mn.

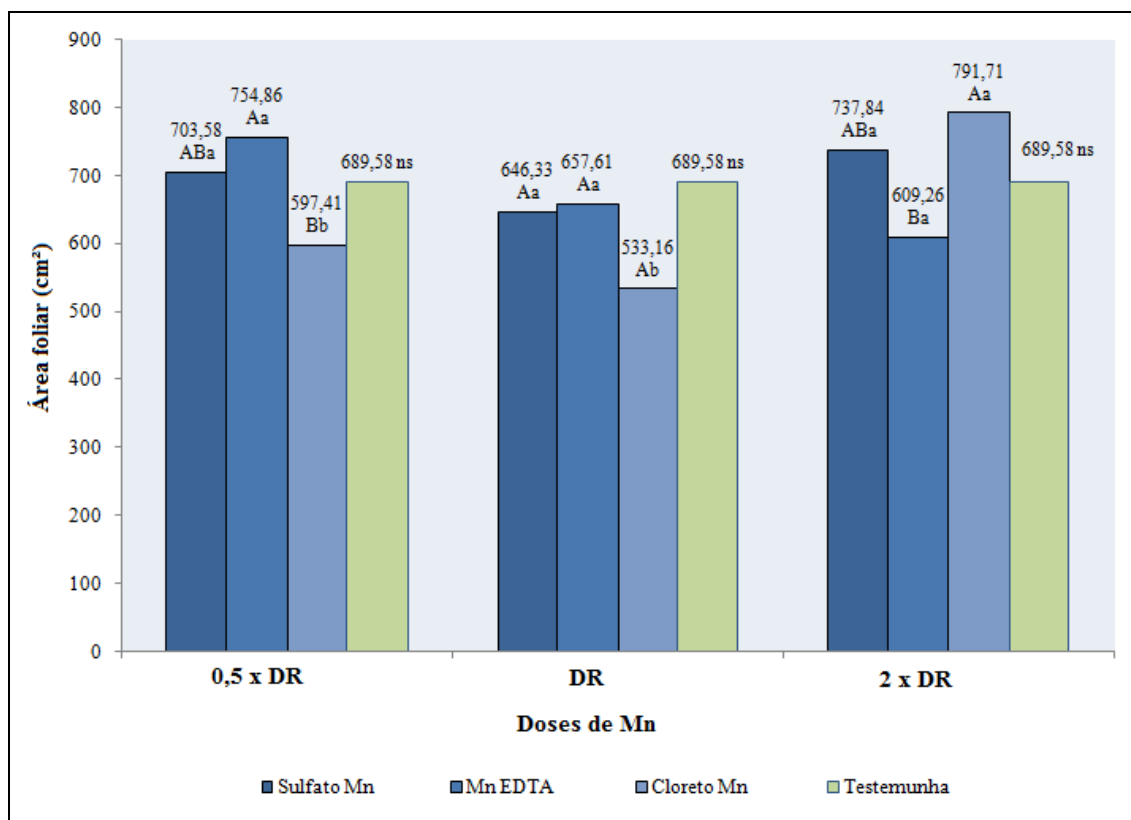


Figura 9. Gráfico comparativo da área foliar de plantas de feijoeiro submetidas a diferentes fontes e doses de Mn, todas comparadas a testemunha. *letra minúscula compara fonte dentro de cada dose e letra maiúscula comprara doses dentro de cada fonte, pelo teste de tukey a 5% de significância, ns: não significativo.

Nas doses 0,5 x DR e DR para a fonte cloreto de Mn, o parâmetro em questão se mostrou menor que o tratamento testemunha, evidenciando que a fonte pode ter causado alguma modificação no metabolismo que fez com que a planta não desenvolvesse índices mais expressivos de área foliar.

4.1.6. Massa seca de parte aérea

Para este parâmetro, houve diferenças significativas somente para o fator isolado fonte. Não houve interação entre fontes e doses, interação com testemunha e efeitos isolados de doses. Para a fonte, a que melhor respondeu foi o Mn EDTA, onde as plantas apresentaram maiores massas secas.

Fernandes et al. (2007), mostraram que plantas de feijoeiro da cultivar “Pérola”, que receberam aplicação de Mn na forma quelatizada na fase de pré-florescimento, apresentaram aumento de produtividade de 11%.

Observando-se a Figura 10, pode-se notar que houve altos coeficientes de correlação para as fontes sulfato de Mn e Mn EDTA. As plantas tratadas com cloreto de Mn podem ter apresentado comportamento diferente devido a presença do íon cloreto, que pode ter causado problemas de toxicidade as plantas. Isso reduziria sua área foliar e, conseqüentemente, os índices de matéria seca da parte aérea.

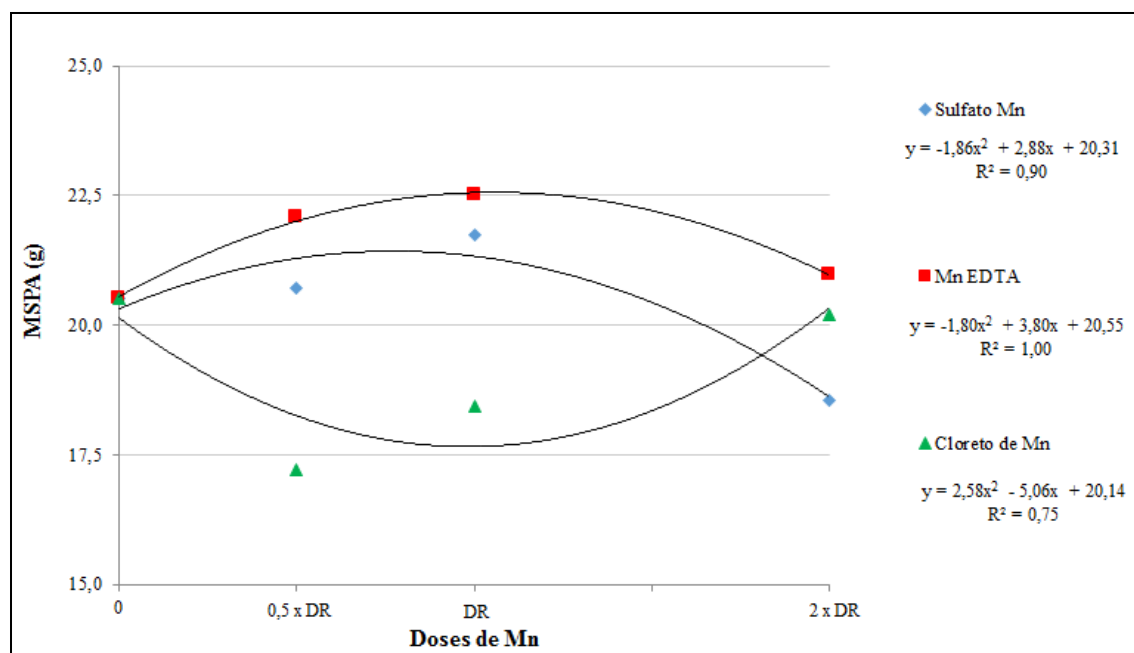


Figura 10. Gráfico de regressão polinomial de massa seca de parte aérea de plantas de feijoeiro submetidas a diferentes fontes e doses de Mn.

De modo geral, as plantas que apresentaram maior área foliar também resultaram em maior teor de massa seca (Figura 4). Rebouças et al. (2010) também inferiram em seu trabalho que o aumento na produção de matéria seca total ocorreu devido ao aumento da área foliar. Existem hoje alguns métodos de determinação de área foliar utilizando os teores de massa seca, com erros estimados em 2%, conforme estudado por Monteiro et al. (2005), provando que tais parâmetros apresentam estreita correlação.

Fernandes et al. (2007) notaram que a massa seca de plântulas tratadas com diferentes doses de Mn não foram influenciadas pelo nutriente e, sendo assim, não apresentam diferenças significativas. Os autores justificaram que o resultado não foi expressivo devido ao alto teor de Mn já presente no solo. Porém, Borket et al. (2001) destacaram que mesmo com teores de manganês elevados no solo, é possível aumentar a produtividade do feijoeiro mediante aplicações foliares de Mn nos estádios de pré-florescimento e florescimento. A disponibilidade

do Mn do solo as plantas é dependente de fatores como pH, matéria orgânica, potencial de oxidação e equilíbrio com outros cátions, principalmente ferro, cálcio e magnésio. Soratto et al. (2005) verificaram que existem diferenças entre cultivares de feijão do tocante a absorção de Mn no solo. Plantas da cultivar Pérola apresentaram, em média, menores teores e acúmulo de Mn quando comparadas as cultivares IAC Carioca Eté e FT Bonito.

4.2. Avaliações nutricionais

Dentre os macronutrientes presentes no tecido vegetal (Tabela 5), somente nitrogênio e enxofre apresentaram diferenças estatísticas significativas em relação ao tratamento testemunha. Isso mostra que a adição do Mn, independente da fonte ou dose utilizadas, pode exercer influência sobre outro nutriente.

Tabela 5. Teores de macronutrientes foliares presentes em plantas de feijoeiro comum cultivadas sob diferentes fontes e doses de Mn.

| Dose | N | P | K | Ca | Mg | S |
|---------------------|--------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| | g kg ⁻¹ | | | | | |
| Sulfato de manganês | | | | | | |
| 0,5 | 30,50 Aba | 1,20 | 5,27 | 24,47 | 6,01 | 1,78 Ab |
| 1 | 28,97 Ba | 1,31 | 6,39 | 24,73 | 5,26 | 1,58 Bb |
| 2 | 31,03 Aa | 1,98 | 10,67 | 29,02 | 6,96 | 2,74 Aa |
| Média | 30,17 a | 1,49 a | 7,44 a | 26,07 a | 6,08 a | 1,99 a |
| Manganês EDTA | | | | | | |
| 0,5 | 32,00 Aa | 1,58 | 8,96 | 28,95 | 5,26 | 1,18 Ab |
| 1 | 31,50 Aa | 1,45 | 6,72 | 29,93 | 5,85 | 1,91 Bab |
| 2 | 26,33Bb | 2,49 | 11,13 | 31,11 | 6,84 | 2,61 Aa |
| Média | 29,94 a | 1,84 a | 8,94 a | 30,00 a | 5,98 a | 1,90 a |
| Cloreto de manganês | | | | | | |
| 0,5 | 29,17 Ba | 2,08 | 6,65 | 25,31 | 5,87 | 1,41 Ab |
| 1 | 30,33 Aba | 1,61 | 4,41 | 25,19 | 5,64 | 3,35 Aa |
| 2 | 29,66 Aa | 2,04 | 2,77 | 27,79 | 5,95 | 2,15 Ab |
| Média | 29,72a | 1,91 a | 4,61 a | 26,10 a | 5,82 a | 2,30 a |
| Média das doses | | | | | | |
| 0,5 | 30,56 A | 1,62 AB | 6,96 A | 26,24 A | 5,71 A | 1,46 B |
| 1 | 30,27 A | 1,45 B | 5,84 A | 26,62 A | 5,58 A | 2,28 A |
| 2 | 29,01 B | 2,16 A | 8,19 A | 29,31 A | 6,58 A | 2,46 A |
| Média da testemunha | | | | | | |
| | 34,30** | 1,52 ns | 6,39 ns | 27,83 ns | 5,27 ns | 1,06** |
| CV (%) | 3,33% | 28,03% | 24,32% | 19,84% | 27% | 21,27% |

Teste F – ANOVA

| | | | | | | |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Fonte (F) | 0,43 ns | 1,89 ns | 2,68 ns | 1,55 ns | 0,03 ns | 2,17 ns |
| Dose (D) | 5,93** | 5,39* | 0,76 ns | 0,85 ns | 1,00 ns | 15,38** |
| F x D | 13,67** | 0,94 ns | 1,17 ns | 0,07 ns | 0,33 ns | 8,04** |
| F x D x Test | 50,11** | 0,60 ns | 0,06 ns | 0,01 ns | 0,53 ns | 15,95** |

Comparação de médias pelo teste de Tukey (P<0,05): letras maiúsculas comparam doses dentro de cada fonte e médias de doses; letras minúsculas comparam fontes dentro de cada dose e médias de fontes. ns: diferença não-significativa entre controle e o fatorial pelo teste F (P>0,01). *Diferença significativa entre o controle e o fatorial pelo teste F (P>0,05). **Diferença significativa entre o controle e o fatorial pelo teste F (P>0,01).

Efeitos isolados do fator fonte não foram significativos para nenhum macronutriente. Efeitos isolados de doses foram observados para nitrogênio, fósforo e enxofre. A interação fontes x doses foi significativa somente para teores de N e S. Potássio, cálcio e magnésio não apresentaram teores estatisticamente diferentes com a suplementação das plantas com Mn.

As doses que resultaram em maior teor foliar de N foram 0,5 x DR e DR. Para fósforo, a melhor dose foi DR e para enxofre as doses mais expressivas foram DR e 2 x DR.

A relação nitrogênio x manganês ocorre porque ambos são nutrientes essenciais no processo de fotossíntese, vital as plantas. Outra relação entre estes dois nutrientes se dá pelo processo de nodulação, presente nas leguminosas. Tal nodulação é afetada pelos níveis de AIA (ácido endolacético), e este por sua vez, depende dos níveis de Zn e Mn na planta (MALAVOLTA, 2006). Juntamente com N e Mn, o enxofre é mais um elemento chave para o processo de nodulação e fixação de nitrogênio do ar. A fixação biológica do nitrogênio é essencial, pois esse processo supre boa parte do N necessário para o desenvolvimento da maioria das leguminosas (YAMADA, 2002).

Kabata Pendias & Pendias (1984) relataram que altas concentrações de magnésio podem afetar a absorção de manganês e zinco. Tal fato ocorre por se tratar de elementos com raio iônico, valência e grau de hidratação semelhantes.

Foram feitas avaliações dos teores de micronutrientes presentes no tecido vegetal (Tabela 6). Houve diferença significativa em relação a testemunha para o nutriente manganês, o que estava sendo esperado, visto que neste tratamento (testemunha) não houve nenhum tipo de suprimento com o nutriente.

Diferenças significativas também foram observadas na interação fonte x dose para os nutrientes B, Fe e Mn. Efeitos isolados de fonte foram significativos para Fe, Mn e Zn e efeitos isolados de doses foram significativos para B e Mn. O elemento cobre não foi influenciado pela adição ou ausência do Mn. O manganês apresentou maiores níveis em plantas tratadas com cloreto de Mn, na dose 2 x DR.

Tabela 6. Teores de micronutrientes foliares presentes em plantas de feijoeiro comum cultivadas sob diferentes fontes e doses de Mn.

| Dose | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
|------------------------|---------------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| | mg kg ⁻¹ | | | | |
| Sulfato de manganês | | | | | |
| 0,5 | 6,86 Ab | 13,79 | 307,00 Aa | 170,93 Ba | 4,36 |
| 1 | 13,18 Bab | 11,88 | 346,16 Aa | 137,14 Ba | 4,66 |
| 2 | 17,13 Aa | 15,17 | 311,02 Ba | 234,44 Ba | 5,71 |
| Média | 12,39 a | 13,62 a | 288,06 b | 180,84 b | 4,91 b |
| Manganês EDTA | | | | | |
| 0,5 | 15,45 Aa | 15,45 | 344,15 Aa | 239,92 Ba | 6,99 |
| 1 | 11,89 Ba | 18,50 | 397,91 Aa | 140,71 Ba | 7,46 |
| 2 | 12,83 Aa | 15,88 | 345,58 Ba | 255,45 Ba | 8,68 |
| Média | 13,39 a | 16,61 a | 362,55 b | 213,03 b | 7,71 a |
| Cloreto de manganês | | | | | |
| 0,5 | 8,98 Ba | 15,38 | 599,13 Ab | 542,97 Ab | 5,04 |
| 1 | 26,67 Aa | 19,29 | 401,42 Ab | 748,91 Aab | 5,26 |
| 2 | 12,18 Ab | 16,69 | 935,97 Aa | 938,86 Aa | 5,65 |
| Média | 15,95 a | 17,12 a | 645,51 a | 743,61 a | 5,32 b |
| Média das doses | | | | | |
| 0,5 | 10,43 B | 14,87 A | 416,76 AB | 317,94 B | 5,46 A |
| 1 | 17,25 A | 16,55A | 348,50 B | 342,25 B | 5,79 A |
| 2 | 14,05AB | 15,91 A | 530,86 A | 476,28 A | 6,68 A |
| Média da testemunha | | | | | |
| | 8,73 ns | 14,97 ns | 312,43 ns | 97,64** | 5,46 ns |
| CV% | 33,32% | 38,14% | 35,91% | 29,97% | 30% |
| Teste F – ANOVA | | | | | |
| Fonte (F) | 1,62ns | 0,89 ns | 14,06** | 81,50** | 6,57** |
| Dose (D) | 5,81* | 0,18 ns | 3,35 ns | 5,92** | 1,14 ns |
| F x D | 6,06** | 0,30 ns | 3,285* | 3,22* | 0,08 ns |
| F x D x Test | 3,54ns | 0,05 ns | 1,69 ns | 19,32** | 0,23ns |

Comparação de médias pelo teste de Tukey (P<0,05): letras maiúsculas comparam doses dentro de cada fonte e médias de doses; letras minúsculas comparam fontes dentro de cada dose e médias de fontes. ns: diferença não-significativa entre controle e o fatorial pelo teste F (P>0,01). *Diferença significativa entre o controle e o fatorial pelo teste F (P>0,05). **Diferença significativa entre o controle e o fatorial pelo teste F (P>0,01).

Relacionando teores de clorofila total com teores foliares de Mn apresentados, é possível notar que não houve boa correlação (Figura 11). Uma vez que, a fonte que resultou em maiores teores de clorofila (Mn EDTA), não foi a mesma onde os teores de Mn na folha foram maiores. Isso indica que aparelhos portáteis podem não ser uma boa ferramenta para o diagnóstico antecipado de deficiências nutricionais de Mn. A detecção de deficiências nutricionais é

importante, e quando pode ser feita previamente, antes dos sintomas visuais se manifestarem, evita-se perdas de produção daquele ano agrícola.

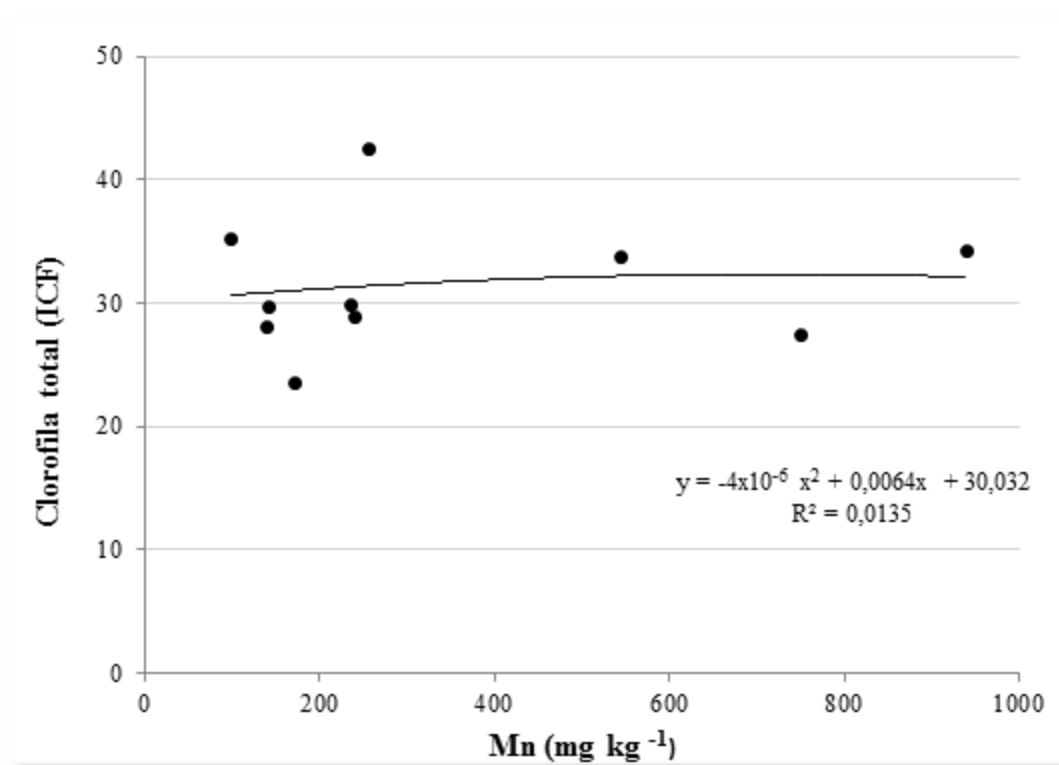


Figura 11. Correlação dos teores de clorofila foliar e manganês foliar.

Observando-se a análise de solo (Tabela 7) feita com amostras dos diferentes tratamentos, não foi possível notar nenhum tipo de alteração evidente dos teores dos atributos químicos do solo. Apenas nos tratamentos onde o Mn foi fornecido via solo, os teores deste nutriente se mostraram ligeiramente maiores. Este fato deixa claro que, o tratamento das plantas com algum tipo de adubação foliar pode gerar resultados esperados, sem alterar a concentração do nutriente aplicado no solo.

Tabela 7. Atributos químicos do solo de vasos de plantas de feijoeiro cultivadas sob diferentes fontes e doses de Mn.

| Fontes | P resina | MO | pH | K | Ca | Mg | H+Al | Al | SB | CTC | V | m | S | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
|-----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----|----|------|-----|------|------|------|------|--------------------|------|-----|----|-----|-----|
| | mg/dm ³ | g/dm ³ | CaCl ₂ | mmol/dm ³ | | | | | | | % | % | mg/dm ³ | | | | | |
| Testemunha | 19 | 7 | 4,4 | 0,2 | 17 | 5 | 21 | 0,2 | 22,1 | 43,1 | 51,3 | 0,9 | 7 | 0,33 | 0,7 | 33 | 2,6 | 0,3 |
| Sulfato Mn - 0,5 x DR | 13 | 6 | 4,3 | 0,1 | 19 | 5 | 21 | 0,5 | 24,7 | 45,7 | 54,0 | 2,0 | 5 | 0,24 | 0,4 | 26 | 3,3 | 0,3 |
| Sulfato Mn - DR | 12 | 7 | 4,3 | 0,3 | 14 | 5 | 22 | 0,4 | 19,0 | 41,0 | 46,3 | 2,1 | 5 | 0,34 | 0,4 | 30 | 4,4 | 0,4 |
| Sulfato Mn - 2 x DR | 14 | 7 | 4,4 | 0,4 | 14 | 4 | 21 | 0,4 | 19,3 | 40,3 | 47,9 | 2,0 | 6 | 0,28 | 0,3 | 28 | 5,3 | 0,3 |
| Mn EDTA - 0,5 x DR | 22 | 7 | 4,5 | 0,5 | 25 | 5 | 22 | 2,0 | 30,9 | 52,9 | 58,4 | 6,1 | 5 | 0,31 | 0,3 | 31 | 3,0 | 0,5 |
| Mn EDTA - DR | 12 | 7 | 4,6 | 0,3 | 15 | 6 | 20 | 2,5 | 21,5 | 41,5 | 51,8 | 10,4 | 5 | 0,31 | 0,3 | 26 | 2,7 | 0,3 |
| Mn EDTA - 2 x DR | 12 | 6 | 4,4 | 0,1 | 17 | 5 | 20 | 0,2 | 21,8 | 41,8 | 52,2 | 0,9 | 7 | 0,34 | 0,4 | 30 | 4,6 | 0,4 |
| Cloreto Mn - 0,5 x DR | 7 | 6 | 4,2 | 0,6 | 13 | 5 | 22 | 0,2 | 19,1 | 41,1 | 46,4 | 1,0 | 6 | 0,20 | 0,3 | 28 | 2,6 | 0,4 |
| Cloreto Mn - DR | 8 | 6 | 4,3 | 0,4 | 16 | 6 | 22 | 2,2 | 22,2 | 44,2 | 50,3 | 9,0 | 6 | 0,18 | 0,4 | 31 | 3,0 | 0,6 |
| Cloreto Mn - 2 x DR | 8 | 7 | 4,5 | 0,2 | 18 | 6 | 19 | 1,0 | 23,9 | 42,9 | 55,7 | 4,0 | 6 | 0,15 | 0,3 | 27 | 3,4 | 0,3 |

A Tabela 8 mostra um comparativo dos teores adequados de nutrientes em plantas de feijoeiro com os resultados médios obtidos no presente trabalho.

Tabela 8. Teores de nutrientes foliares adequados de plantas de feijoeiro.

| Nutriente | Faixa adequada | Resultados do trabalho |
|----------------------------|----------------|------------------------|
| N (g kg^{-1}) | 52-54 | 29-30 |
| P (g kg^{-1}) | 04-06 | 01-02 |
| K (g kg^{-1}) | 15-35 | 04-09 |
| Ca (g kg^{-1}) | 15-25 | 26-30 |
| Mg (g kg^{-1}) | 04-08 | 05-07 |
| S (g kg^{-1}) | 05-10 | 01-03 |
| B (mg kg^{-1}) | 10-50 | 12-16 |
| Cu (mg kg^{-1}) | 05-15 | 13-17 |
| Fe (mg kg^{-1}) | 100-300 | 280-650 |
| Mn (mg kg^{-1}) | 50-400 | 180-740 |
| Zn (mg kg^{-1}) | 35-100 | 04-08 |

Adaptado de Malavolta (2006).

Pode-se notar que os teores de Fe e Mn se apresentaram pouco acima da média, mostrando que houve maior absorção destes nutrientes nas plantas submetidas aos diferentes tratamentos. Dos demais nutrientes apresentados na Tabela 8, os que se mostraram dentro da faixa adequada foram Ca, Mg, B e Cu. Os teores de N, P, K, S e Zn se mostraram ligeiramente abaixo da faixa adequada.



Figura 12. Plantas de feijoeiro apresentando sintomas de toxidez de Mn.

Dechen & Nachtigall (2007) relatam que concentrações de Mn acima de 700 mg kg⁻¹ são consideradas tóxicas as plantas. Esses teores foram apresentados nas plantas tratadas com cloreto de Mn na dose 2 x DR, as quais apresentaram sintomas típicos de toxidez (Figura 12). Os sintomas apresentados foram semelhantes aos relatados por Lavres Junior (2008), que são: aparecimento de pontuações necróticas no limbo foliar, clorose foliar, aspecto de murcha e má formação dos limbos foliares.

5. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que diferentes fontes e doses de Mn exerceram influência sobre as plantas de feijoeiro. Desta forma, pode-se concluir que:

- a) A absorção e acúmulo de Mn nas folhas dependeram da fonte, da seguinte forma: $\text{MnCl}_2 > \text{MnSO}_4 = \text{Mn EDTA}$;
- b) A fonte que resultou em maiores teores foliares de Mn foi o cloreto de Mn; a aplicação de 2,0 x DR provocou sintomas de toxidez nas plantas ($> 700 \text{ mg kg}^{-1}$);
- c) A fonte de Mn que resultou em melhores parâmetros biométricos (n. de vagens, clorofila total, área foliar e MSPA) foi o Mn EDTA;
- d) Não houve correlação entre teores de Mn e teores de clorofila presente nas folhas das plantas tratadas com diferentes suprimentos de Mn; a aplicação da dose 2,0 x DR resultou em maiores teores de clorofila, independentemente da fonte;
- e) O ClorofilLOG não foi adequado para avaliar o estado nutricional das plantas em relação aos teores de Mn.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANTES, F.L. **Efeito de bioestimulante sobre a produtividade e qualidade fisiológica de dois cultivares de feijão cultivados no inverno**. 2008, 66p. Dissertação – Faculdade de engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, 2008.
- ABREU, C.A. Micronutrientes. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, Capítulo XI, p.645-736. 2007.
- ALCARDE, J.C.; VALE, F. Solubilidade de micronutrientes contidos em formulações de fertilizantes, em extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.363-372, 2003.
- BALLAGRO Agro Tecnologia. **Boletim informativo**. Disponível em <http://www.ballagro.com.br/portal/index.php#>. Acesso em 10 abr 2016.
- BASTOS, E.A.; RAMOS, H.M.M.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; NASCIMENTO, F.N.; CARDOSO, M.J. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**. v.1, n.1, p.31-37. 2012.
- BATAGLIA, O.C. et al. **Métodos de Análise Química de Plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- BENETT, C.G.S. **Doses e fontes de manganês na cultura da cana de açúcar**. Tese para obtenção do título de doutor em Agronomia - Sistemas de Produção. Faculdade de Engenharia - UNESP - Ilha Solteira, SP. 2011.
- BOARETTO, A.E. et al. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de plantas para análise química. In: SILVA, F.C. (Ed.) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, Capítulo 2 p.59-85, 2009.
- BORKERT, C.M.; PAVAN, M.A.; BATAGLIA, O.C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. de. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/Fapesp/Potafos, 2001. p.151-185.
- CARVALHO, N.M. de; NAKAGAWA, J. (Ed.) **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p.
- CARVALHO, M. C. S.; **Micronutrientes**. *Ageitec* (Agência Embrapa de Informação Tecnológica). Embrapa. Disponível em

<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_20_237200483743.html>. Acesso em 10 abr 2016.

- CHAVES, N.M. **Manganês para produção e plantio de mudas de cacaueteiro**. Dissertação para obtenção do título de mestre em produção vegetal. Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA. 2014.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. – safra 2014/2015**. Brasília: CONAB, v.2, n.7, Sétimo Levantamento, 2015. 101 p.
- COSTA. J.G.C.; VIEIRA, N.R.A. Qualidade, classificação comercial e manejo pós-colheita. In: YOKOYAMA, L.P.; STONE, L.F. **Cultura do feijoeiro no Brasil**: características da produção. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2000, 75p.
- DECHEN, A.R. & NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: SBCS, Capítulo XIII, p.327-354. 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA-SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-Solos, 2013. 353p.
- FAGERIA, V.D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, p.1269-1290, 2001.
- FALKER, Automação agrícola. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. Porto Alegre, 2008. 33p. Disponível em: <<http://www.falker.com.br/>> . Acesso em: 28 abr. 2016.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. Feijão: Ecofisiologia e Fenologia. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. (ed.). **Tecnologia da produção de feijão**. Piracicaba: ESALQ, 1998. p.1-27
- FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. Feijão: Ecofisiologia e Fenologia. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. (ed.). **Produção de feijão**. Piracicaba: ESALQ, 2007. p.23-48.
- FERNANDES, D.S.; SORATTO, R.P.; KULCZYNSKI, S.M.; BISCARO, G.A.; REIS, C.J., Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão em consequência da aplicação foliar de manganês. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. vol. 42, no. 03, pp. 419-426. 2007.

- FERRANDON, M.; CHAMEL, A. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn, and Zn supplied in organic and inorganic form. **Journal of Plant Nutrition**, v.11, n.3, p.247-263. 1988.
- FONTES, R.L.F. **Pesquisas com micronutrientes em solos e plantas**. Difusão dos resultados no Brasil. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- FREITAS, N. **Curva de crescimento e marcha de absorção de nutrientes em mudas de caramboleiras 'Nota-10'**. 2008. 81 f. Monografia (Trabalho de graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.
- GUIMARÃES, C.M. Relações hídricas. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (Coord.) **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.139-167.
- JADOSKI, S. O. Manejo da irrigação para maximização do rendimento de grãos do feijoeiro. **Irriga**, v.8, p.1- 9, 2003.
- JUNQUEIRA, P. C.; CANCEGLIERO, L. F. B.; MATSUNAGA, M.; YAMAGUISHI, C. T. **Aspectos econômicos da produção e comercialização do feijão**, 1971. Agricultura em São Paulo, São Paulo, v.18, n.7/8, 1-64, jul./ago.1971.
- KABATA PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315p.
- LAVRES JUNIOR, J.; MORAES, M.F.; CABRAL, C.P.; MALAVOLTA, E. Influência genotípica na absorção e na toxidez de manganês em soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 32, p.173-181, 2008.
- LOPES, A.S.; SOUZA, E.C.A. de. Filosofias e eficiência de aplicação. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. de. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/Fapesp/Potafos, 2001. p.255-282.
- MAGRI, C.F. Feijão na economia nacional. **Documentos**: Embrapa Arroz e Feijão, no. 135, Santo Antônio de Goiás. 47p, 2002.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Editora agronômica Ceres. São Paulo, 2006. 638p.
- MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J.C. **Adubos & Adubações**. MAHL, C.R. (Ed.). Sao Paulo: Nobel, 2002. 200 p.

- MANN, E.N.; REZENDE, P.M.; CARVALHO, J.G.; CORRÊA, J.B.D. Efeito da adubação com manganês, via solo e foliar em diferentes épocas na cultura da soja (*Glycinemax* (L.) MERRILL). **Ciência e Agrotecnologia**. v.25, n.2, p.264-273. Lavras, MG. 2001.
- MANOS, M.G.L.; OLIVEIRA, M.G.C.; MARTINS, C.R. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum na Região Nordeste Brasileira**. Documentos 181 – Embrapa Arroz e Feijão. Aracaju. 201p. 2013.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MARTENS, D.C. & WESTERMANN, D.T. Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies. In: MORTVEDT, J.J. et al. (Eds). **Micronutrients in agriculture**. 2 ed Madison, SSSA, 1991. P.549-591.
- MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; GALLO, P.B.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; AMBROSANO, G.M.B.; CARMELLO, Q.A.C. Efeito da calagem sobre a produtividade de grãos, óleo e proteína em cultivares precoces de soja. **Scientia Agricola**, v.53, p.164-172, 1996.
- MATTOS, J. L. S.; Gomide, J. A.; Huaman, C. A. M. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria*, sob déficit hídrico, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.746-754, 2005.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 5 ed. Dordrecht: **Kluwer Academic Publishers**, 2001. 849p.
- MONTEIRO, J.E.B.A.; SENTELHAS, P.C.; CHIAVEGATO, E.J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A.V.; PRELA, A. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões de massa das folhas. **Bragantia**, v.64, n.1, p.15-24. Campinas. 2005.
- MOTTA, A.C. & PREVEDELLO, B.M.S. Micronutrientes: fatores que afetam a disponibilidade e respostas das culturas. In: SÁ, J.C.M. coord. **Curso sobre o manejo do solo no sistema de plantio direto**. Castro, Fundação ABC, 1995. p.302-327.
- OHKI, K. Manganese deficiency and toxicity effects on growth, development, and nutrient composition in wheat. **Agronomy Journal**, v.76, p.213-218, 1984.
- OLIVEIRA, I.P.; ARAÚJO, R.S.; DUTRA, L.G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; SIMMERMANN, M.J.O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.169-221.

- PANOBIANCO, M.; VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J.B.F. Electrical conductivity of soybean seed and correlation with seed coat lignina content. **Seed Science and Technology**, v.27, p.945-949, 1999.
- PESTANA, M.; VARENNE, A.; CORREIA, P.J. Clorose férrica induzida pelo calcário. **Revista Ceres**, v.61, p.849-855, 2014
- PRAZERES, E.S. **Respostas biométricas e fisiológicas de duas cultivares de feijão de corda sob irrigação com água salina e potássio no solo**. Dissertação de Mestrado, Fortaleza/UFC, 2012. 95p.
- QUEIROGA, J.L. et al. Estimativa da área foliar do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central. **Horticultura Brasileira**, v.21, n.1, p. 64-68. 2003.
- SALGADO, F.H.M. et al. Eficiência de genótipos de feijoeiro em resposta à adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n.4, p.368-374, 2012.
- SANTOS, C. H. et al. Adubos foliares quelatizados e sais na absorção de boro, manganês e zinco em laranjeira Pera. **Scientia Agricola**, v.56, n.4, p.999-1004, 1999 .
- SÃO JOÃO, A.C.G. **Eficiência Agronômica de fontes de manganês, disponibilidade para a soja e distribuição nas frações do solo**. 2006. 68p. Dissertação (Mestre em agronomia - Ciência do Solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-UNESP. Jaboticabal, 2006.
- SEPROTEC. Seprotec sementes – **Tecnologias de produção**. Feijão carioca TAA Bola Cheia. Disponível em <<http://www.seprotec.com.br/sementes/feijao-bola-cheia.html>>. Acesso em 01 jun 2016.
- SORATTO, R.P.; SILVA, T.R.B. da; BORGHI, E.; SILVA, L.M. da; ROSOLEM, C.A. Resposta de quatro cultivares de feijão ao manganês em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.11, p.235-240, 2005.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 285p. 1996. (Boletim Técnico 100).
- REBOUÇAS, J.R.L.; DIAS, N.S.; GONZAGA, M.I.S.; SOUSA NETO, O.N. Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, v.23, n.1, p.97-102. Mossoró. 2010.
- RIGON, J.P.G.; BELTRÃO, N.E.M.; CAPUANI, S.; BRITO NETO, J.F.; SILVA, F.V.F. Análise não destrutiva de pigmentos fotossintéticos em folhas de gergelim. **Revista**

- Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.16, n.3, p.258-261. Campina Grande, PB. 2012.
- ROCHA, D.G.F.; HOLANDA, J.S.; MEDEIROS, J.F.; ALENCAR, R.D.; PORTO FILHO, F.Q.; ROCHA, A.A. Comportamento de cultivares de melão Pele de sapo submetidas a condições de salinidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 10, 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, SBF, 2000, CD-Rom.
- ROSOLEM, C.A.; FERELLI, L. Resposta diferencial de cultivares de algodão ao manganês em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.24. p.355-361. 2000.
- TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A. & BULISANI, E.A. Manganese deficiency in soybean induced by excess lime. **BetterCropsInter.**, 9:7, 1993.
- TEIXEIRA, I.R.; BORÉM, A.; ARAÚJO, G.A.A.; FONTES, R.L.F. Manganese and zinc leaf application on common bean grown on a “cerrado” soil. **Scientia Agrícola**, v.61, p.77-81, 2004.
- TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A.; ANDRADE, M.J.B.; GIÚDICE, M.P.D.; CECON, P;R; Teores de clorofila em plantas de feijoeiro influenciadas pela adubação com manganês e zinco. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.26, n.2, p.147-152, 2004.
- VIEIRA, N. M. B. **Crescimento e marcha de absorção de nutrientes no feijoeiro cvs. BRS-MG talismã e ouro negro, em plantio direto e convencional.** Dissertação de Mestrado. Lavras / UFLA, 2006. 145p.
- YAMADA, T. Melhoria na eficiência da adubação aproveitando as interações entre nutrientes. Piracicaba, SP – **Informações Agronômicas nº 100** – dezembro, 2002.
- YEO, A.R.; CAPORNA, S.J.M. & FLOWERS, T.J. The effect of salinity upon photosynthesis in rice (*Oryza sativa*): gas exchange by individual leaves in relation to their salt content. **J. Exp. Bot.**, 36:1240-1248, 1985.
- ZIMEERMANN, M.J.O.; TEIXEIRA, M.G. Origem e evolução. In: ARAUJO, R. S. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil.** Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.57-68

7. ANEXO



Figura 13. Vista geral dos vasos identificados logo após o plantio das sementes (bancada frontal).



Figura 14. Sementes de feijão antes do plantio, submetidas a tratamento com inoculante.



Figura 15. Vista geral das plantas aos 10 DAE, logo após primeiro desbaste. No detalhe, nota-se a presença de duas plantas por vaso.



Figura 16. Vista geral das plantas aos 22 DAE, entre os estádios V3 e V4 da fase vegetativa. No detalhe, planta individual com 3 trifólios bem desenvolvidos.



Figura 17. Plantas de feijão tutoradas, 40 DAE.



Figura 18. Plantas de feijão aos 50 DAE.



Figura 19. Vagens já formadas de plantas aos 50 DAE.



Figura 20. Momento da coleta do experimento, aos 60 DAE. Altura de plantas, sendo medidas com auxílio de trena.



Figura 21. Equipamentos usados para coleta de dados. À esquerda, medidor de área foliar (Area Meter); à direita, medidor portátil de clorofila (ClorofiLOG).