

**INFLUÊNCIA DO MAGNÉSIO NA ABSORÇÃO E TRANSPORTE
DO MANGANÊS E DO ZINCO NA SOJA**

ADÔNIS MOREIRA

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Eurípedes Malavolta

**Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear
na Agricultura, da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Doutor em Ciências, Área de
Concentração: Energia Nuclear na Agricultura.**

T
005/99

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Dezembro - 1999

Embrapa	
Unidade:	Embrapa Arroz/Inia Curitiba
Valor aquisição:	13.80
Data aquisição:	29.02.2000
N.º N. Fiscal/Fatura:	
Fornecedor:	
N.º OCS:	
Origem:	BR/CEA
N.º Registro:	2000-00006

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Moreira, Adônis

Influência do magnésio na absorção e transporte do manganês e do zinco na soja / Adônis Moreira.

-- Piracicaba, 1999.

138p. : il.

Tese (doutorado) - - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 1999.

1. Efeito de inibição 2. *Glycine max* 3. Magnésio
4. Manganês 5. Nutrição mineral 6. Soja 7. Zinco I. Título

CDU 633.34:631.81.031

OFEREÇO

À minha mãe Margarida e a
minha querida Lalá, as duas
pessoas que atualmente são os
alicerces da minha vida.

Aos meus meninos Felipe,
Gabriela, Caio Túlio, Nicola e
Vicente

DEDICO.

"Na vida existe um tempo para todas as coisas e um tempo para cada coisa.

Existe o tempo de trabalhar e o tempo de descansar...

Existe o tempo de sofrer e o tempo de sorrir.

*Assim por diante, todos esses tempos, quando aceitos e vividos,
são integrantes do todo da vida - nosso grande tempo de viver.*

*Porém num determinado momento pára, parece que escuta e,
às vezes não ouve.*

Olha, mas nem sempre vê.

*É que chegou para o homem a hora da decisão,
o momento inevitável de dar um rumo ao tempo da vida
e descobrir um sentido ao tempo de viver;*

muitos são os caminhos, porém outras tantas as escolhas.

Cabe a cada homem, a iniciativa de trilhar o seu caminho.

Cabe a cada um de nós, a coragem de assumir a própria escolha."

Obrigado "Seu" ANTÔNIO, MEU PAI, que desde a minha infância,

me deu a oportunidade de chegar até esse momento;

que DEUS o tenha, e que lá em cima,

continue ainda cuidando da gente.

AGRADECIMENTOS

Aos meus irmãos Sueli, Renato, Adolf, Adalton, Adalberto e Mila por estarem sempre presentes, colaborando na minha formação profissional.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), pela oportunidade oferecida.

Ao meu sempre Orientador, Prof. Dr. Eurípedes Malavolta, pelas idéias, sugestões, paciência e confiança na orientação deste trabalho.

À FAPESP (Proc. 97/06954-1) pela concessão da bolsa e dos recursos financeiros para a realização desta Tese.

A Cleusa Pereira Cabral pelo auxílio, ensinamento nas análises químicas e amizade.

Aos companheiros de “Republica” Axel (Mestre), Alexandre (Cabeça) e Ronaldinho (Filhão), pelos cinco anos de convivência.

Aos amigos Reges e Selma, Robson e Rose, Ronaldo, João Alberto, Aderbal, Adriana, Telma e demais colegas do curso de Pós-graduação, pelo apoio, amizade e incentivo.

Ao parceiro João Odemir Salvador, por mostrar que a perseverança é uma grande aliada nas realizações profissionais e principalmente na pesquisa.

À Helena (Depto de Produção Vegetal – ESALQ/USP), Suzy, Dona Léa, Alzira, Neuda, Adilson, Geraldo (Gera), José Roberto Martins, Marileuza e Sandra, pela força e pelo convívio.

À Marília, Elsie, Cleide e Raquel, pelo auxílio nas referências bibliográficas.

Aos Professores Takashi Muraoka e Virgílio Nascimento, pelo apoio nas análises.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
SUMMARY	ix
1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1 Considerações gerais	03
2.2 Funções do magnésio na planta	04
2.3 Funções do zinco na planta	05
2.4 Funções do manganês na planta	05
2.5 Interações entre os nutrientes	06
2.6 Condições nos quais ocorrem deficiência de Zn e Mn	07
2.7 Cinética de absorção de íons	09
3 MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Local	11
3.2 Seleção das cultivares de soja (<i>Glycine max</i> (L.) Moench.)	11
3.3 Experimentos com Mg e Zn e com Mg e Mn	12
3.3.1 Instalação dos experimentos	12
3.3.1.1 Início	12
3.3.1.2 Germinação e adaptação	12
3.3.1.3 Transplântio para os vasos	12
3.3.2 Condução dos experimentos	13
3.3.2.1 Sintomas de deficiências	13
3.3.2.2 Coleta dos materiais	14
3.3.2.3 Manejo e análise dos materiais	15
3.4 Delineamento estatístico	15
3.5 Instalação e condução dos experimentos de cinética	16

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1 Produção de matéria seca total e das várias partes da planta em função das doses de Mg e Zn	19
4.2 Produção de matéria seca total e das várias partes da planta em função das doses de Mg e Mn	24
4.3 Teor dos nutrientes nas folhas usadas para diagnose	32
4.3.1 Experimento com Mg e Zn	32
4.3.2 Experimento com Mg e Mn	40
4.4 Magnésio, zinco e manganês contidos nas diversas partes da planta	50
4.4.1 Teor na folha, caule, pericarpo e raiz	50
4.4.1.1 Experimento com Mg e Zn	50
4.4.1.2 Experimento com Mg e Mn	54
4.5 Grãos	63
4.5.1 Experimento com Mg e Zn	63
4.5.2 Experimento com Mg e Mn	75
4.6 Estimativa do teor de clorofila (Unidade SPAD).....	89
4.6.1 Experimento com Mg e Zn	89
4.6.2 Experimento com Mg e Mn	90
4.7 Condutividade elétrica	91
4.8 Cinética de absorção, Km e Vmax	95
4.8.1 Determinação de Km e Vmax no experimento de Mg e Zn	95
4.8.2 Determinação de Km e Vmax no experimento de Mg e Mn	100
5 CONCLUSÕES	108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
APÊNDICES	125

INFLUÊNCIA DO MAGNÉSIO NA ABSORÇÃO E TRANSPORTE DO MANGANÊS E DO ZINCO NA SOJA

Autor: Adônis Moreira

Orientador: Prof. Dr. Eurípedes Malavolta

RESUMO

O estudo foi desenvolvido em casa de vegetação e no laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), e teve por objetivo avaliar a influência do magnésio na absorção e transporte do manganês e zinco em quatro cultivares de soja.

As plantas foram cultivadas em solução nutritiva sob duas concentrações de Mg (0,1 e 1,0 mM) e quatro de Mn ou Zn (0, 1, 2 e 5 μ M). O delineamento foi o inteiramente casualizado com três repetições. As soluções com os tratamentos foram trocadas quinzenalmente; nesse período foi determinada a condutividade elétrica da solução no primeiro e décimo quinto dias, valor esse, transformado em potencial osmótico. No estágio R1, realizou-se uma amostragem (soma do 3º e 4º trifólios a partir do ápice) para diagnose foliar. Antes da coleta foi feito nos mesmos trifólios a determinação da unidade SPAD, valor convertido em teor de clorofila. No estágio R7 as plantas foram colhidas e separadas em folhas, caule, raízes, pericarpo e grãos e, posteriormente colocadas em sacos de papel, devidamente identificados. As folhas senescentes foram coletadas e acondicionadas em sacos de papel.

As folhas usadas para diagnose foram moídas determinando-se o teor de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn. Nas demais partes da planta, exceto os grãos, determinou-se somente os nutrientes em estudo, ou seja, Mg e Zn no primeiro ensaio e Mg e Mn no segundo. No caso dos grãos, em decorrência do Mg, Mn e Zn atuarem

como ativadores enzimáticos, na síntese de lipídeos e em várias reações na biossíntese de proteínas, determinou-se, antes de proceder à moagem, o teor de óleo em espectrômetro de ressonância magnética nuclear (NMR), posteriormente foram obtidos os teores dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn). Com base no peso da matéria seca dos grãos estimou-se a produtividade de óleo. Através do teor N, obteve-se o de proteína pela multiplicação do primeiro pelo fator de conversão 5,71.

Nos experimentos de cinética de absorção foram usadas as raízes cortadas pouco abaixo do caule. As raízes foram colocadas em frascos “snap cap” com as seguintes combinações: 3 doses de Mg (1,0, 3,0 e 6,0 mM) x 5 doses de Zn ou Mn (0,5, 1,0, 2,0, 5,0 e 10,0 μ M), com 3 repetições. Com pipetador foi colocado 1 mL da solução de radiozínco ou de radiomanganês (4,0 μ Ci), iniciando-se a aeração que durou uma hora. Após esse período, as raízes foram lavadas e postas para secar em estufa, com circulação forçada, até atingir peso constante; em seguida foram pesadas e, mediante ao uso da cintilação sólida, determinou-se a radioatividade absorvida. Os valores obtidos em cpm (contagem por minuto) foram convertidos em micromoles por grama de matéria seca por 60 minutos de absorção. Foram determinados o Km e Vmax pelas transformadas de Lineweaver & Burk e de Hofstee.

Nas condições em que foram conduzidos os ensaios, os resultados permitem concluir que existe um efeito de inibição não competitiva entre o Mg e Zn e entre o Mg e Mn, o aumento na concentração de Mg na solução diminui significativamente a absorção de Zn e Mn; nas duas concentrações de Mg, as doses de Zn ou Mn proporcionam aumento significativo na produção de matéria seca total e de grãos; as cultivares apresentam comportamento distintos na absorção de nutrientes; cultivares indicadas para solos parcialmente corrigidos são mais eficientes na absorção de nutrientes; o aumento na concentração de Mg e Zn ou Mn na solução afeta positivamente o teor de óleo nos grãos, o inverso ocorre com o teor de proteína; e o pericarpo, no geral, é a parte da planta que apresenta os maiores teores de magnésio, enquanto que os maiores teores de zinco e manganês são encontrados nas folhas.

INFLUENCE OF MAGNESIUM IN THE ABSORPTION AND TRANSPORT OF MANGANESE AND ZINC IN SOYBEAN

Author: Adônis Moreira

Adviser: Prof. Dr. Eurípedes Malavolta

SUMMARY

This study was carried out in the greenhouse and the Laboratory of Mineral Nutrition of Plants of the "Centro de Energia Nuclear na Agricultura" (CENA/USP), with the objective of evaluating the influence of magnesium in the absorption and transport of manganese and zinc in four soybean cultivars.

Plants were grown in nutrient solution, with two magnesium concentrations (0.1 and 1.0 mM) and four manganese or zinc levels (0.0, 1.0, 2.0 and 5.0 μM). A full randomized experimental design with three replicates, was employed. The solutions were renewed fortnightly. In each fortnight period the electric conductivity of the solution was determined in the first and last day. From the data obtained the osmotic potential of the solutions were calculated. In the stage R1, samples of the third and fourth trifoliated leaves below the apex were collected for foliar diagnosis. Before sampling SPAD units were determined and the values were converted into chlorophyll content. Plants were harvested at the stage R7 and leaves, stems, roots, pericarps and grains were separated and placed in paper bags with the respective label identification. Senescent leaves were also placed in separate paper bags. Leaves used for foliar diagnosis were ground and the level of N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Ni and Zn were determined. In the other organs, except grains, only Mg and Zn were determined in the first experiment, and Mg and Mn in the second. In the case of grains, since Mg, Mn and Zn play a role as enzyme activators, in the synthesis of lipids, and in several steps of

protein synthesis, the oil level in the grain was determined by nuclear magnetic resonance (NMR) before grinding. In the grains the level of N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Ni and Zn were determined. The oil level per seed dry matter allowed the estimation of oil productivity. The N level was used to calculate the protein level, with the conversion factor 5.71.

In the assays of absorption kinetics, excised roots were used. The roots were placed in "snap cap" bottles with solutions of the following combinations: three rates of Mg (1.0, 3.0 and 6.0 mM) x five rates of Zn or Mn (0.5, 1.0, 2.0, 5.0 and 10.0 μ M), with three replicates. One mL of radiozinc or radiomanganese (4.0 μ Ci) was pipetted, the aeration was started and maintained during one hour. After this period the roots were washed and dried in an oven with air circulation until constant weight was reached. After that, the roots were weighed and, based on the determination of solid scintillation, the absorbed radioactivity was calculated. The obtained values in "cpm" (counting per minute) were converted into micromoles per gram of dry matter per sixty minutes of absorption. The K_m and V_{max} values were determined by the Lineweaver & Burk and Hofstee transformations.

Under the experimental conditions, the results led to the conclusion that there is an effect of non-competitive inhibition between Mg and Zn and between Mg and Mn; the increase of the magnesium concentration in the solution reduced significantly the absorption of zinc and manganese; Under the two Mg concentration (0.1 and 1.0 mM) the rates of Zn and Mn provide significant increase of total dry matter and grain production; the cultivars behaved differently with respect to the absorption; the cultivars recommended for partially amended soil are more efficient in nutrient absorption; the increase of magnesium and zinc or magnesium and manganese in the solution affected positively the oil level of the grains, with an opposite effect on protein level; the higher Mg level was found generally in the pericarp, while higher Zn and Mn levels were observed in the leaves.

1 INTRODUÇÃO

Conforme Roessing & Guedes (1993), no conjunto dos produtos agropecuários que participam na formação do produto setorial, a soja tem desempenhado papel fundamental para o desenvolvimento de determinadas regiões como as do cerrado, sendo um dos produtos mais representativos das mesmas.

No Brasil, grande parte da área cultivada com soja situa-se em regiões ocupadas por solos de cerrado. Essas regiões apresentam limitações climáticas, com períodos de seca, os quais são acentuados tanto pela baixa capacidade de retenção de água desses solos, quanto por outros fatores limitantes, tais como a baixa fertilidade natural, baixa capacidade de troca catiônica, alta capacidade de adsorção de fósforo e elevadas concentrações de alumínio e manganês trocável ou disponível (Lopes, 1984 e Komatuda, 1988).

Até recentemente havia grande preocupação com a toxidez de alguns micronutrientes, destacando-se o manganês (Franco & Döbereiner, 1971; Pavan & Bingham, 1981), sendo que a maior parte das pesquisas concentraram-se nesse efeito. Atualmente, porém, observam-se várias culturas com deficiência deste nutriente, entre as quais se destacam a soja e o café (Rosolem & Nakagawa, 1986; Novais et al., 1989; Silveira & Carvalho, 1989 e Matiello & Vieira, 1993).

Para Rosolem & Nakagawa (1986) a calagem, algumas vezes, em lugar de resolver o problema de toxidez de Mn, tem induzido o aparecimento da carência deste elemento, principalmente quando se utilizam de altas doses de calcário. Segundo Lindsay (1991) e Bergmann (1992), a aplicação de grandes quantidades de macronutrientes pode causar um desequilíbrio dos íons na solução do solo em

detrimento dos micronutrientes. Isto pode reduzir a absorção destes pelas plantas, a menos que o desbalanço seja compensado pelo uso de fertilizantes contendo esses nutrientes.

O presente trabalho baseou-se na hipótese de que a deficiência de Mn e Zn podem ocorrer não somente pela calagem diminuindo a sua disponibilidade, mas também pelo efeito inibidor do Mg contido no calcário e em fertilizantes afetando com isso, a absorção de ambos os elementos.

Através dessas suposições, os objetivos desse trabalho foram: estudar a influência do Mg na absorção do Mn e da Zn na soja, usando plantas inteiras e raízes destacadas (cinética de absorção); verificar os efeitos na adição de Mg no transporte a longa distância de Mn e Zn; estudar a influência do magnésio na distribuição e mobilização de manganês e zinco nas diferentes partes da planta; determinar o efeito desses nutrientes sobre os teores de óleo e de proteína nos grãos; estimar as produtividades de proteína e de óleo; obter os teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn nas folhas usadas para diagnose e nos grãos, correlacionando-os com as doses e os teores de Mg, Zn ou Mn e as produções da matéria seca total e de grãos; * estimar o teor de clorofila (unidade SPAD); e acompanhar o efeito de cada cultivar sobre a condutividade elétrica da solução.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Considerações gerais

O complexo soja (grãos, farelo e óleo), constitui-se numa das mais importantes "commodities" nacionais, sendo responsável, nas últimas safras, pela captação de divisas no mercado internacional da ordem de US\$ 3,0 a 4,0 bilhões ao ano (Roessing, 1994 e Câmara, 1998).

Atualmente, as duas principais regiões produtoras de soja são a Sul e a Centro-Oeste, perfazendo cerca de 90% da produção nacional. É a cultura que apresenta maior consumo de fertilizantes, cerca de 25% do total consumido no País, seguida de perto pela cana-de-açúcar 20% e milho 18%, lembrando-se ainda que nessa cultura, praticamente 100% do nitrogênio necessário para a mesma é obtido através da fixação biológica do N_2 atmosférico (Vitti & Luz, 1998).

Com relação à calagem, embora a soja possa recebê-la diretamente ou valer-se do efeito residual como, por exemplo, na rotação com o trigo ou milho, existe a possibilidade da absorção do Zn ser afetada pelo Mg proveniente do calcário visto, conforme Kabata Pendias & Pendias (1984), tratar-se de elementos com mesma valência, raio iônico e grau de hidratação. O mesmo poderia acontecer com o Mn cuja carência está aumentando e que também começa a fazer parte das fórmulas de adubação (Malavolta & Moreira, 1999).

2.2 Funções do magnésio na planta

Conforme Malavolta (1980) e Mengel & Kirkby (1987), a absorção do Mg pelas plantas se faz na forma de Mg^{2+} . De modo geral os teores de Mg encontrados nas partes mais novas das plantas são maiores que os encontrados nas partes mais velhas; o Mg^{2+} é móvel no floema e os sintomas de carência começam nas folhas mais velhas.

O magnésio ativa quase todas as enzimas fosforilativas que formam pontes entre o ATP (adenosina trifosfato) ou o ADP (adenosina difosfato) com a molécula da enzima. A transferência de energia deste dois compostos é fundamental nos processos de fotossíntese, respiração (glicólise), reações de síntese de compostos orgânicos (carboidratos, lipídeos e proteínas), absorção iônica e trabalho mecânico, como o aprofundamento e a expansão das raízes (Malavolta et al., 1997). Nos grãos, aparece o sal de Mg como inositol-fosfato (Malavolta, 1980 e Huguet & Coppenet, 1992).

Todavia, a função mais conhecida é de ser o átomo central da molécula de clorofila que, segundo Salisburg & Ross (1992) e Lehninger et al. (1995), é o pigmento mais importante para o processo de fotossíntese.

Segundo Marschner (1995), a maior fração do magnésio contido na planta está associada a ânions de ácidos orgânicos e inorgânicos armazenados nos vacúolos, ou então, sob a forma de pectatos que compõem a lamela média da parede celular. O mesmo autor salienta que apenas 15 a 20% do Mg contido na planta está nos cloroplastos, do qual menos da metade está associado diretamente à clorofila.

Os primeiros sintomas de deficiência nas plantas, segundo Malavolta (1980), se manifestam por clorose internerval que pode ser seguida do desenvolvimento de coloração alaranjada, vermelha ou roxa; o padrão de clorose reflete a distribuição do magnésio no tecido. Os sintomas de excesso de Mg não foram identificados; possível carência induzida pelo excesso de K e Ca (Malavolta et al., 1997).

2.3 Funções do zinco na planta

O Zn é absorvido ativamente pelas raízes na forma de Zn^{2+} . É considerado pouco móvel e, geralmente, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas partes mais novas da planta (Malavolta, 1980 e Mengel & Kirkby, 1987).

Conforme Loué (1993) e Marschner (1995), o Zn participa dos processos metabólicos das plantas como componentes de várias enzimas, como desidrogenase, proteínase, peptidases e fosfohidrolases. A função básica do zinco está relacionada ao metabolismo de carboidratos e proteínas, e também na formação de auxinas (AIA - ácido indolil acético), RNA (ácido ribonucleico) e ribossomos.

Em condições de deficiência, os sintomas são característicos e fáceis de identificar: as plantas são raquíticas, os internódios e pecíolos são pequenos, as folhas estreitas e malformadas, o que resulta na clássica "roseta" (Meurer et al., 1981 e Brennan et al. 1993). A toxidez, segundo Mengel & Kirkby (1987), resulta em uma redução no crescimento das raízes e tamanho das folhas e seguida por cloroses.

White et al. (1979) descreveram os sintomas de toxidez em plantas de soja em diferentes estádios de crescimento: nas folhas primárias observaram clorose clara generalizada e nas primeiras folhas trifolioladas, uma severa clorose interneval, com posterior aparecimento de pigmentos purpúreos nas nervuras das folhas e, subseqüentemente, nas hastes e pecíolos; estes sintomas são acompanhados pela morte da gema apical e definhamento das plantas.

2.4 Funções do manganês na planta

O Mn é absorvido ativamente pela planta como Mn^{2+} . Normalmente, há uma pequena redistribuição dentro da planta, sendo considerado um elemento de baixa mobilidade no floema (Malavolta & Malavolta, 1989 e Marschner, 1995). O mesmo fora verificado por Löhnis (1960) quando estudou o efeito do fornecimento de Mg e Ca sobre a absorção de Mn na cultura do feijoeiro.

Malavolta (1980) define os papéis do manganês na planta como formador de pontes entre o ATP (adenosina trifosfato) e as enzimas transferidoras de grupos (fosfoquinases e fosfotransferase). As plantas possuem uma proteína com Mn, a manganina, cuja função ainda é desconhecida. Atribuem-se, ainda, como funções do manganês, a síntese do RNA (ácido ribonucléico), o acúmulo de fósforo de reserva, a inativação de protetores do ácido indolil acético (AIA) e fixação do CO₂ via compostos com quatro carbonos (Malavolta, 1986).

Em leguminosas o excesso de Mn provoca diminuição na nodulação (Malavolta 1978). No feijão macassar (*Vigna sinensis* (L.) Endl) foi observado redução na área foliar e folhas novas com clorose internerval; com a evolução dos sintomas os folíolos caíram e a porção apical do caule permaneceu do tipo fino e comprido, chegando a alcançar o florescimento com pequena produção de vagens (Malavolta, 1987).

Os sintomas de deficiência na soja são caracterizados por uma descoloração completa da folha, com uma leve deformação do tecido e o surgimento de pontos necróticos espalhados pelo limbo (Oliveira Jr, 1996). Segundo o mesmo autor, os sintomas são mais evidentes nas folhas pertencentes aos ramos que se desenvolvem na gemas laterais.

2.5 Interações entre os nutrientes

O balanço da composição mineral de qualquer organismo vivo é uma condição básica para o seu adequado crescimento e desenvolvimento. As interações entre elementos são tão importantes quanto a deficiência e toxicidade na fisiologia das plantas. Elas podem ser antagônicas ou sinérgicas. O antagonismo ocorre quando o efeito fisiológico combinado de dois ou mais elementos é menor do que os efeitos independentes e o sinergismo ocorre quando o efeito combinado é maior. Estas interações podem também referir-se à habilidade de um elemento em estimular ou inibir a absorção de outros elementos pelas plantas. Todas estas reações são muito

variáveis, podendo ocorrer no interior das células dentro das membranas e também na superfície das raízes das plantas (Kabata Pendias & Pendias, 1984).

Maas et al. (1969) estudando o efeito do Mg na absorção do Mn verificaram que esta é fortemente diminuída pelo Mg; observaram também que há um comportamento similar quando o pH do meio aumenta. Esta condição também foi observada por Tanaka et al. (1992), que verificaram um aumento na concentração de Mg quando ocorre uma diminuição significativa no teor de Mn na planta.

Segundo Malavolta et al. (1974), na fixação pelos minerais de argila, o zinco pode deslocar o magnésio, ocupando o seu lugar, tornando-se, neste caso, de difícil aproveitamento pelas plantas.

Gupta & Singh (1985) verificaram que a adição de Mg em um solo pobre em Zn aumentou significativamente o teor deste elemento no tecido das plantas. Pode-se atribuir este fato à fonte de magnésio utilizada (cloreto de magnésio), pois o Cl⁻ exerce um efeito de íon acompanhante que favorece a absorção do Zn. Por isso é empregado o cloreto de magnésio na extração do zinco disponível do solo no método proposto por Stewart & Berger (1965).

O íon Mg apresenta a mesma valência e tem potencial e raio iônico semelhantes aos do íon Zn (Kabata Pendias & Pendias, 1984); pode deslocar o zinco disponível para a solução do solo aumentando sua concentração. Trabalhos referentes às interações desses nutrientes afetando a absorção e o transporte, a longa distância, são poucos na literatura. Outro aspecto pouco estudado é o efeito dessas interações em estádios mais avançados do ciclo da planta no mecanismo de absorção de nutrientes.

2.6 Condições nas quais ocorrem deficiência de Zn e Mn

A deficiência de Zn nas regiões temperadas tem sido observada mais freqüentemente em solos alcalinos e neutros. A redução na disponibilidade de zinco quando o pH aumenta, é atribuída geralmente à formação de hidróxido de Zn

insolúvel ou de carbonato de Zn. Em solos ácidos, a prática da calagem pode induzir o aparecimento da deficiência de zinco (Rogers & Wu, 1948; Seatz et al., 1959 e Tisdale et al, 1993).

Meurer et al. (1981) estudaram o efeito da calagem e da aplicação de P em solos do sul do Brasil. Verificaram que a calagem teve um efeito depressivo na absorção de Zn e que a deficiência deste ocorreu a partir de pH 6,5, independentemente da aplicação de fosfato.

A aplicação de fertilizantes ou corretivos que alteram o pH do solo pode afetar a disponibilidade de zinco. Assim, o emprego de materiais acidificantes pode aumentar a solubilidade do Zn e, conseqüentemente, a sua absorção pelas plantas (Boawn et al., 1960 e Stanton & Burger, 1970).

Spehar (1993) em experimento com 28 cultivares de soja, observou que a aplicação de calcário dolomítico, sendo um tratamento com calagem parcial e outro com a dose recomendada com base nos resultados de análise, os teores foliares de Mn e Zn apresentaram reduções médias de 310 e 78%, em contraste com o Ca e Mg, com acréscimos de 12 e 21%, respectivamente.

A deficiência de Mn em uma planta pode ocorrer quando a velocidade de absorção do nutriente é insatisfatória diante da velocidade de crescimento da planta ou quando esta apresenta aumento na concentração mínima desse elemento capaz de manter suas funções metabólicas (Ghazali & Cox, 1981).

Conforme Mehlich (1957), elevadas doses de calcário, quando aplicadas em solos ácidos, com grandes quantidades de alumínio e ferro, pode causar severas deficiências de Mn. O pH do solo influencia a velocidade das reações biológicas e químicas, afetando assim a solubilidade, adsorção, dessorção e oxidação do Mn^{2+} e a redução dos óxidos de manganês nos solos (Reisenauer, 1988). Para cada unidade de aumento de pH em solos aerados há, teoricamente, um decréscimo de 100 vezes na concentração de Mn^{2+} na solução (Malavolta, 1980). O aumento na atividade microbiana torna o Mn menos disponível, o que está associado à correção da acidez do solo (Tanaka et al., 1992).

A dinâmica do Mn nos solos é diretamente afetada pela temperatura e pela umidade, porém, a menor disponibilidade do manganês no solo pode ser devida à correção da acidez que aumenta o pH e com isso a atividade microbiana capaz de complexar o Mn. O excesso de calcário, alterando o pH dos solos, a matéria orgânica e concentração de outros micronutrientes (Cu, Fe, Mo, Ni, Si, Zn, etc.) e de macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) são os principais fatores que geram tais ocorrências (Horowitz & Dantas, 1966; Pavan & Miyazawa, 1984 e Tisdale et al., 1993).

A aplicação de qualquer composto mangânico altamente solúvel pode ser usado para aumentar a disponibilidade de Mn para as plantas. Contudo, aumentar dessa forma o teor de manganês não é economicamente viável devido ao Mn^{2+} oxidar-se a Mn^{4+} e precipitar como óxido (Borkert, 1991)

Novais et al. (1989) observaram plantas de soja com sintomas caracterizados por clorose internerval intensa de folhas inferiores e, através de análises, encontraram teores de manganês na parte aérea inferiores a 20 mg kg^{-1} .

De acordo com Ohlrogge (1963) e Mascarenhas et al. (1980), os teores médios, considerados como adequados nas folhas superiores da soja, no estágio de florescimento, estão na faixa de: $2,6$ a $10,0 \text{ g kg}^{-1}$, 21 a 100 mg kg^{-1} e 21 a 50 mg kg^{-1} para o Mg, Mn e Zn, respectivamente.

2.7 Cinética de absorção de íons

Hoagland & Broyer (1936) desenvolveram um trabalho clássico para estudo de absorção iônica radicular, estabelecendo as técnicas fundamentais para estudos com raízes destacadas. As raízes destacadas de cevada apresentaram vantagens sobre a utilização de plantas inteiras por não apresentaram transporte do nutriente para a parte aérea, ficando o mesmo acumulado nas mesmas.

A utilização de plantas inteiras e de raízes destacadas em estudos de absorção de nutrientes conduzem, normalmente, a resultados diferentes (Acosta et

al., 1983). Em experimentos com as cultivares Dourado Precoce, L-45 e Penatie, os autores obtiveram resultados diferentes, quando foram comparadas raízes destacadas e plantas inteiras, com alteração nos valores calculados de K_m . A absorção do nutriente em função do tempo de contato diferiu das plantas inteiras para raízes destacadas.

Outros fatores internos e externos interferem e interagem na absorção dos elementos. O uso de cultivares diferentes dentro de uma mesma espécie é um fator de variação na absorção conforme foi verificado por Malavolta et al. (1977) em três cultivares de sorgo sacarino.

A velocidade máxima de absorção (V_{max}) pode ser definida como sendo a quantidade máxima do elemento absorvida por unidade de massa seca, na unidade de tempo. A curva formada entre a variação da concentração do elemento e a velocidade de absorção obedece à equação de Michaelis Menten (Epstein, 1972 e Malavolta et al., 1997). K_m é definida como a concentração externa do elemento que proporciona a metade da velocidade máxima de absorção do nutriente.

A cinética de Michaelis Menten tem larga aplicação no estudo de absorção iônica pelas raízes. A determinação dos parâmetros cinéticos de absorção iônica requer que o influxo do íon decresça com o aumento da sua concentração na solução externa, cuja curva representa uma hipérbole equilátera, numa relação consistente com a hipótese de que a absorção seja medida por um carregador, com comportamento semelhante ao de uma enzima, obedecendo assim à cinética proposta por esses autores (Epstein, 1966).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

Os ensaios foram realizados em casa de vegetação e nos laboratórios do Centro de Energia Nuclear da Agricultura (CENA/USP, Piracicaba - SP). Devido à limitação de espaço e do volume de análises gerados nos experimentos, eles foram instalados em duas etapas distintas: a primeira com magnésio e zinco e a segunda com magnésio e manganês.

3.2 Seleção das cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Moench.)

Escolha

As cultivares utilizadas de crescimento determinado foram a IAC 17 e FT Estrela (exigentes em fertilidade do solo) e a IAC 15-1 e DM Nobre (tolerantes em solos parcialmente corrigidos ou de média fertilidade), sendo recomendadas pela EMBRAPA-CNPSO (1998) e pelo INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (1997). A composição mineral dos grãos das quatro cultivares (dados deste trabalho) e a média dos teores dos nutrientes comumente encontrados em outras são apresentados na Tabela 1. Verificou-se que a composição dos grãos das cultivares em estudo se parece a das demais. Não foram encontrados na literatura disponível, informações sobre o teor de níquel considerado adequado.

Semêles

3.3 Experimentos com Mg e Zn e com Mg e Mn

3.3.1 Instalação dos experimentos

3.3.1.1 Início

Os experimentos com Mg e Zn e com Mg e Mn tiveram início em janeiro e outubro de 1998, respectivamente.

3.3.1.2 Germinação e adaptação

Os grãos passaram por um pré-tratamento, e foram embebidos em solução de hipoclorito de sódio (10,0%), por 5 minutos, para desinfecção e separação dos inviáveis. Após o pré-tratamento, foram colocados para germinar em bandejas plásticas, com vermiculita ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 7,4$; M.O. = $5,6 \text{ g kg}^{-1}$; P = $16,7 \text{ mg dm}^{-3}$; K = $0,14 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Ca = $5,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg = $6,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; SB = $11,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; B = $0,0 \text{ mg dm}^{-3}$; Cu = $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$; Fe = $28,9 \text{ mg dm}^{-3}$; Mn = $12,5 \text{ mg dm}^{-3}$; Mo = $0,0 \text{ mg dm}^{-3}$; Zn = $0,0 \text{ mg dm}^{-3}$ e V = 93,6%) umedecidas com $\text{CaSO}_4 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$, vedadas com plástico transparente. As bandejas foram colocadas em condições de casa de vegetação e mantida a umidade com água destilada. Quando as plântulas atingiram o estágio VE (Fehr et al., 1971) foi retirado o plástico, e, quando alcançaram 5 a 7 cm de altura, em estágio V2, foram transplantadas para uma bandeja, contendo solução de Johnson et al. (1957) diluída a 1/5, arejada constantemente, permanecendo nesta por uma semana. O volume da solução foi completado com água destilada e desionizada diariamente para repor a quantidade de água perdida.

3.3.1.3 Transplântio para os vasos

Após duas semanas, as mudas foram transplantadas para vasos plásticos impermeabilizados, com 2,2 litros de capacidade, contendo a solução de Johnson et al. (1957) modificada, constantemente arejada. A solução foi modificada no sentido de

fornecer duas doses de Mg e quatro de Zn ou Mn. As Tabelas 2 e 3 mostram a composição das soluções com os diferentes tratamentos.

Tabela 1. Composição mineral dos grãos das quatro cultivares estudadas e os teores comumente encontrados na literatura de outras cultivares soja.

Elementos	Cultivares				
	IAC 15-1	IAC 17	DM Nobre	FT Estrela	Soja ¹
	g kg⁻¹				
N	64,0	63,0	68,0	62,00	57,9 ± 12,9
P	3,95	4,09	3,64	3,45	4,75 ± 1,05
K	17,5	23,5	18,50	22,00	18,0 ± 4,0
Ca	6,23	5,65	7,10	6,23	4,05 ± 2,45
Mg	3,50	3,90	4,33	2,30	2,65 ± 0,55
S	3,00	3,30	3,30	3,90	3,3 ± 0,9
	mg kg⁻¹				
B	7,15	16,58	5,68	17,49	11,58 ± 5,90
Cu	7,00	5,00	9,00	13,50	27,0 ± 14,0
Fe	316,00	228,00	211,50	142,50	202,5 ± 133,5
Mn	47,5	47,00	20,50	28,50	31,5 ± 10,5
Mo	0,56	0,21	0,19	0,24	1,98 ± 1,93
Ni	5,00	6,50	3,50	3,00	-
Zn	47,5	47,00	43,50	58,50	62,5 ± 29,5

¹ Teor médio encontrado nos grãos de soja na revisão de literatura.

3.3.2 Condução dos experimentos

As soluções com os tratamentos foram trocadas quinzenalmente; nesse período foi determinada a condutividade elétrica da solução no primeiro e décimo quinto dia de cada troca, valor também transformado em potencial osmótico (Marschner, 1995). O pH da solução foi mantido na faixa de 5,0 a 6,0 (Hewitt, 1966), utilizando NaOH 0,1 mol L⁻¹ para elevar e HCl 0,1 mol L⁻¹ para abaixar o pH.

3.3.2.1 Sintomas de deficiência

Durante o desenvolvimento das plantas, observou-se que os sintomas visuais de deficiência no experimento com Mg e Zn foram mais acentuados nas cultivares FT

Estrela e IAC 17, respectivamente (exigentes em fertilidade do solo), do que nas cultivares IAC 15-1 e DM Nobre (tolerantes em solos parcialmente corrigidos ou e média fertilidade). Os sintomas visuais de deficiência no experimento com Mg e Mn ocorreram de forma generalizada, independentemente da cultivar estudada.

Tabela 2. Composição das soluções nutritivas para o experimento com magnésio e zinco.

Soluções molares mL L ⁻¹	Tratamentos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
NH ₄ H ₂ PO ₄ (M)	1	1	1	1	1	1	1	1
NH ₄ NO ₃ (M)	1	1	1	1	1	1	1	1
KCl (M)	1	1	1	1	1	1	1	1
KNO ₃ (M)	1	1	1	1	1	1	1	1
Ca(NO ₃) ₂ (M)	1	1	1	1	1	1	1	1
CaSO ₄ (M)	1	1	1	1	1	1	1	1
MgSO ₄ (M)	0,1	0,1	0,1	0,1	1	1	1	1
FeEDTA ⁽¹⁾	1	1	1	1	1	1	1	1
Micro ⁽²⁾	1	1	1	1	1	1	1	1
ZnSO ₄ ⁽³⁾	0	1	2	5	0	1	2	5

¹FeEDTA: Fe-ácido-etileno-diamino-tetra- acético = 26,1 g de EDTA dissolvidos em 700 mL H₂O destilada + 268 mL NaOH N (40 g L⁻¹) + 24,9 g de FeSO₄.7H₂O.

² 1,55 g de H₃BO₃; 0,34 g de MnSO₄.H₂O; 0,12 g de CuSO₄ e 0,08 g de H₂MoO₄ diluídos em água até completar 1 litro.

³ 0,287 g de ZnSO₄.7H₂O diluídos em água até completar 1 litro.

3.3.2.2 Coleta dos materiais

No estádio R1 (Fehr et al., 1971), realizou-se uma amostragem (3^o e 4^o trifólio a partir do ápice) para diagnose foliar. Antes da coleta foi feita nos mesmos trifólios a determinação da unidade SPAD, valor este, também convertido em teor de clorofila (Yadava, 1986). No estádio R7 (Fehr et al., 1971), as plantas foram colhidas e separadas em folhas, caule, raízes, pericarpo e grãos e, posteriormente, colocadas em

sacos de papel devidamente identificados. As folhas senescentes de cada tratamento foram coletadas e acondicionadas em sacos de papel.

As raízes foram lavadas em uma solução 0,1 % de HCl e enxaguadas com água destilada e colocadas para secar com as outras partes da planta, em estufa de ventilação forçada a uma temperatura média de 65°C, até atingir peso constante.

3.3.2.3 Manejo e análise dos materiais

Após 72 horas (Silva, 1990), todas as amostras foram pesadas para obtenção da produção de matéria seca. Posteriormente, as folhas usadas para diagnose (3^o e 4^o trifólio sem o pecíolo) foram pesadas (Apêndice 9) e moídas. Determinaram-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn, conforme Malavolta et al. (1997). Nas demais partes da planta, exceto os grãos, determinaram somente os nutrientes em estudo, ou seja, Mg e Zn no primeiro ensaio e Mg e Mn no segundo.

No caso dos grãos, em decorrência do Mg, Mn e Zn atuarem como ativadores enzimáticos, na síntese de lipídeos e em várias reações na biossíntese de proteínas, foi quantificado o teor de óleo em espectrômetro de ressonância magnética nuclear (NMR) antes de proceder à moagem para determinação dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn). Com base no teor N, obteve-se o de proteína pela multiplicação desse teor com o fator de conversão 5,71 (Carrão-Panizzi, 1998). Com o peso dos grãos estimou-se a produtividade de óleo e de proteína.

3.4 Delineamento estatístico

Os tratamentos foram dispostos em bancadas em delineamento inteiramente casualizados em esquema fatorial (4 cultivares de soja x 2 doses de Mg x 4 doses de Zn ou Mn), com três repetições.

Conforme o delineamento proposto, foram feitas as análises de variância (Tabela 4), teste F (Apêndices 1 a 7), teste de comparação de médias (Tukey 5%), correlações e regressões para os teores dos nutrientes analisados e para as produções de

matéria seca de folha, caule, raiz, pericarpo, grãos e total. As análises foram realizadas de acordo as metodologias descritas por Pimentel-Gomes (1990).

Tabela 3. Composição das soluções nutritivas para o experimento com magnésio e manganês.

Soluções molares ML L ⁻¹	Tratamentos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
NH ₄ H ₂ PO ₄ (M)	1	1	1	1	1	1	1	1
NH ₄ NO ₃ (M)	1	1	1	1	1	1	1	1
KCl (M)	1	1	1	1	1	1	1	1
KNO ₃ (M)	1	1	1	1	1	1	1	1
Ca(NO ₃) ₂ (M)	1	1	1	1	1	1	1	1
CaSO ₄ (M)	1	1	1	1	1	1	1	1
MgSO ₄ (M)	0,1	0,1	0,1	0,1	1	1	1	1
FeEDTA ⁽¹⁾	1	1	1	1	1	1	1	1
Micro ⁽²⁾	1	1	1	1	1	1	1	1
MnSO ₄ ⁽³⁾	0	1	2	5	0	1	2	5

¹ FeEDTA: Fe-ácido-etileno-diamino-tetra-acético = 26,1 g de EDTA dissolvidos em 700 mL H₂O destilada + 268 mL NaOH N (40 g L⁻¹) + 24,9 g de FeSO₄.7H₂O.

² 3,73 g de KCl; 1,55 g de H₃BO₃; 0,287 g de ZnSO₄.H₂O; 0,12 g de CuSO₄ e 0,08 g de H₂MoO₄ diluídos em água até completar 1 litro.

³ 0,17 g de MnSO₄. H₂O diluídos em água até completar 1 litro.

3.5 Instalação e condução dos experimentos de cinética

Nos experimentos de cinética de absorção com raízes destacadas, as sementes de cada cultivar foram colocadas para germinar em vermiculita umedecida com CaSO₄.2H₂O 10⁻⁴ mol L⁻¹. Após uma semana foram transferidas para bandejas com 40 litros de solução de Johnson et al. (1957), diluída a 1/5, omitindo-se Mg e Zn ou Mg e Mn. Utilizou-se para a realização do experimento, plantas no estágio V4 (Fehr et al., 1971). No ensaio foram usadas as raízes cortadas pouco abaixo do caule. Cada cultivar foi estudada separadamente.

Tabela 4. Esquema da análise de variância

Causas de variação	Grau de Liberdade	
Zinco ou Manganês (a)	(i - 1)	3
Magnésio (b)	(k - 1)	1
Cultivares (c)	(l - 1)	3
a x b	(i - 1) x (k - 1)	3
a x c	(i - 1) x (l - 1)	9
b x c	(k - 1) x (l - 1)	3
a x b x c	(i - 1) x (k - 1) x (l - 1)	9
(Tratamentos)	(Σ)	(31)
Resíduo	[j x (ikl) - 1] - Σ	64
Total	J x (ikl) - 1	95

As raízes foram colocadas em frascos “snap cap” com 100 mL de solução com as seguintes combinações: 3 doses de Mg (1,0, 3,0 e 6,0 mM) x 5 doses de Zn ou Mn (0,5, 1,0, 2,0, 5,0 e 10,0 μ M - Schmid et al., 1965), com 3 repetições.

Com pipetador foi colocado 1 mL da solução, conforme o experimento, com 4,0 μ Ci de radiozinco (meia vida = 245 dias) ou radiomanganês (meia vida = 333 dias), iniciando-se a aeração que durou uma hora. Após esse período, as raízes foram lavadas com água destilada e desionizada, agitando-as nos frascos durante 1 minuto, procedimento repetido três vezes. Posteriormente elas foram postas para secar em estufa com circulação forçada, até atingir peso constante, e em seguida, foram pesadas e fez-se a contagem da atividade do ^{65}Zn ou do ^{54}Mn , usando espectrofotômetro gama monocanal acoplado a um cristal cintilador sólido de NaI (TI).

Os valores obtidos em cpm foram convertidos em micromoles por grama de matéria seca por 60 minutos de absorção. Foram determinados o Km e Vmax pelas equações de Lineweaver & Burk (1934) e Hofstee (1952) que são transformações da equação de Michaelis & Menten.

Equação de Michaelis Menten

$$v = \frac{V_{\max} [M]}{[M] + K_m} \quad (1)$$

sendo:

v = velocidade de absorção;

V_{\max} = velocidade máxima de absorção;

$[M]$ = concentração iônica externa;

K_m = constante de Michaelis Menten

Tomando-se a recíproca dos dois membros da equação (1) obtêm-se a transformação de Lineweaver & Burk (1934).

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{V_{\max}} + \frac{K_m}{V_{\max}} * \frac{1}{[M]}$$

Fazendo-se a regressão linear, considerando-se $x = \frac{1}{[M]}$ e $y = \frac{1}{v}$, obtêm-se os valores de V_{\max} e K_m na equação $y = a + bx$ pela fórmula:

$$V_{\max} = \frac{1}{a} \quad \text{e} \quad K_m = \frac{b}{a}$$

Na transformação de Hofstee (1952), partindo da equação (1) têm-se:

$$v = V_{\max} - K_m * \frac{v}{[M]}$$

Fazendo-se a regressão linear, considerando-se $x = \frac{v}{[M]}$ e $y = v$, obtêm-se os valores de V_{\max} e K_m na equação $y = a - bx$ pela fórmula:

$$V_{\max} = a \quad \text{e} \quad K_m = b$$

Após as transformações dos dados, foram feitas as análises de variância, teste F (Apêndice 8), e quando necessário, o teste de comparação de médias (Tukey 5%), correlações e regressões (Pimentel-Gomes, 1990).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de matéria seca total e das várias partes da planta em função das doses de Mg e Zn

Os efeitos dos tratamentos sobre a produção de matéria seca total, em função de cada cultivar de soja e doses de Mg e Zn são apresentados na Figura 1. Verifica-se que as cultivares apresentaram respostas significativas ($p < 0,05$) na produção de matéria seca total, havendo, uma tendência de estabilização com posterior decréscimo na produção com as doses mais elevadas, sendo esse resultado, mais acentuado nos tratamentos com 0,1 mM de magnésio.

Tais resultados confirmam os obtidos por López Gorostiaga (1972) e Sadana & Takkar (1983), que ao trabalharem em condições de casa de vegetação com cevada e arroz, respectivamente, observaram que a absorção do Zn é reduzida na presença de cátions bivalentes (Mg^{2+}); verifica-se que os efeitos de toxidez de zinco foram minimizados com aplicação de 1,0 mM de Mg na solução. Nas duas concentrações de magnésio, a cultivar IAC 17 apresentou a menor produção de matéria seca total (Figura 1).

As Tabelas 5, 6 e 7 e Figura 2 mostram que as produções de grãos e de matéria seca nas diferentes partes da planta apresentaram diferenças significativas (exceto a matéria seca da raiz) nos dois tratamentos com magnésio. No tratamento 0,1 mM de Mg, as produções de matéria seca de folhas das quatro cultivares (Tabela 5) apresentaram a mesma tendência, enquanto que no tratamento com 1,0 mM de Mg, as cultivares recomendadas para solos, parcialmente corrigidos ou de média

fertilidade (IAC 15-1 e DM Nobre) tiveram efeito linear positivo para as doses de zinco. As cultivares mais exigentes em fertilidade do solo (IAC 17 e FT Estrela) apresentaram decréscimo na produção de folhas com o aumento das doses de Zn. Tais resultados corroboram os obtidos por Malavolta et al. (1980) com outras cultivares, porém com características agrônômicas semelhantes.

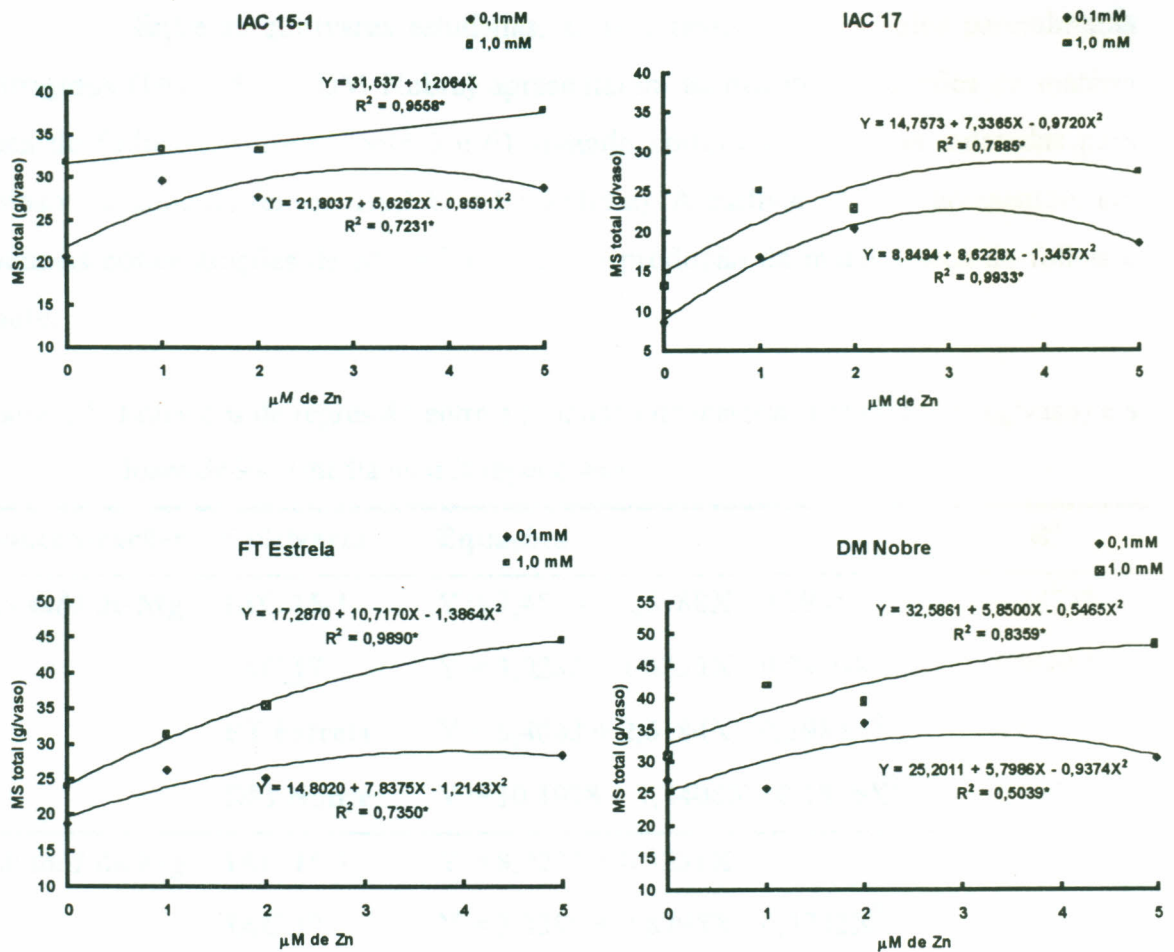


Figura 1. Equações de regressão e coeficientes de determinação das produções de matéria seca total em função das doses de magnésio e zinco - média de três repetições. (* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F)

Com relação a produção de caule (Tabela 6), exceto a IAC 17 na dose 1,0 mM e a FT Estrela e DM Nobre na dose 0,1 mM, as demais cultivares apresentaram a mesma tendência para a produção de folhas. O mesmo ocorreu com a produção de pericarpo, com exceção da cultivar IAC 15-1 na dose 0,1 mM de Mg (Tabela 7). Na dose 1,0 mM de Mg, a produção de pericarpo teve a mesma disposição observada nos grãos (Figura 2).

Entre as cultivares estudadas, as recomendadas para solos parcialmente corrigidos (IAC 15-1 e DM Nobre) apresentaram as maiores produções de matéria seca de folhas e caule (Tabela 5 e 6), quando comparadas com as indicadas para solos naturalmente férteis (IAC 17 e FT Estrela). A cultivar IAC 17 apresentou, em todas as concentrações de Mg e Zn, a menor produção de matéria seca de folhas e caule.

Tabela 5. Equações de regressão entre a produção de matéria seca de folhas (g/vaso) e a doses de Zn. (média de três repetições)

Concentrações	Cultivares	Equações	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 7,4570 + 2,6188X - 0,3935X^2$	0,7477*
	IAC 17	$Y = 3,0236 + 1,6233X - 0,2410X^2$	0,9965*
	FT Estrela	$Y = 6,4043 + 2,6184X - 0,3985X^2$	0,6461*
	DM Nobre	$Y = 10,1978 + 1,2408X - 0,1816X^2$	0,8122*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 8,0221 + 0,3231X$	0,6569*
	IAC 17	$Y = 3,3396 + 2,8795X - 0,4732X^2$	0,9938*
	FT Estrela	$Y = 4,2051 + 4,3993X - 0,6222X^2$	0,9979*
	DM Nobre	$Y = 10,5905 + 1,4814X$	0,8764*

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O aumento das doses de Zn nas duas concentrações de Mg, trouxe acréscimo no rendimento de grãos e no ciclo vegetativo das quatro cultivares (Figura 2). O mesmo foi observado por Silva et al. (1986), que nas condições de Brasília,

obtiveram incremento significativo na produção de grãos de soja (cultivar IAC 7) com o aumento do ciclo da planta.

A análise estatística demonstrou que as doses Zn, nas duas concentrações de Mg, influenciaram significativamente ($p < 0,05$) a produção de grãos (Figura 2). Na concentração 0,1 mM de Mg, a dose 2,0 μM apresentou na média, a maior produção (6,08 g/vaso), ou seja, 64,0% superior a testemunha. O mesmo ocorreu na concentração 1,0 mM de Mg, exceto a cultivar IAC 15-1, que apresentou a menor produção na dose 2,0 μM ; as menores nas demais cultivares foi na testemunha.

Na concentração 1,0 mM de Mg, as maiores produções de grãos foram obtidas com a cultivar FT Estrela. A produção de grãos na dose 5 μM de zinco foi na média, 104% maior do que a testemunha.

Em todos os tratamentos, a cultivar IAC 17 apresentou a menor produção de grãos, sendo mais significativo na concentração 1,0 mM de Mg (Figura 2).

Tabela 6. Equações de regressão entre a produção de matéria seca de caule (g/vaso) e as doses de Zn. (média de três repetições)

Concentrações	Cultivares	Equações	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 5,4863 + 2,5762X - 0,4448X^2$	0,7158*
	IAC 17	$Y = 2,1976 + 2,0712X - 0,3226X^2$	0,9869*
	FT Estrela	$Y = 5,8163 + 0,3285X$	0,6912 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 8,1655 + 0,4473X$	0,8326*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 8,5735 + 0,2712X$	0,9364*
	IAC 17	$Y = 5,1039 + 0,1556X$	0,3419 ^{NS}
	FT Estrela	$Y = 6,1001 + 2,6009X - 0,3662X^2$	0,9949*
	DM Nobre	$Y = 8,6611 + 0,7990X$	0,5765*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 7. Equações de regressão entre a produção de matéria seca do pericarpo (g/vaso) e as doses de Zn. (média de três repetições)

Concentrações	Cultivares	Equações	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,5619 + 0,1248X$	0,9958 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 0,6727 + 1,5885X - 0,2379X^2$	0,9982*
	FT Estrela	$Y = 1,5453 + 0,5331X - 0,8008X^2$	0,8758*
	DM Nobre	$Y = 1,6377 + 0,9410X - 0,1552X^2$	0,6433*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 3,5530 + 0,1480X$	0,5132 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 1,6801 + 1,8179X - 0,2581X^2$	0,9196*
	FT Estrela	$Y = 2,4977 + 0,5975X$	0,8485*
	DM Nobre	$Y = 2,7226 + 1,2936X - 0,1884X^2$	0,8769*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

As produções de matéria seca de raízes não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as doses de zinco, nas duas concentrações de magnésio.

Concordando com os resultados obtidos por Vitti (1982), as correlações entre teores de Zn e as produções de grãos e de matéria seca total mostram interações significativas (Tabelas 8 e 9). As cultivares indicadas para solos naturalmente férteis apresentaram os mais altos coeficientes de correlação quando comparadas com as cultivares indicadas para solos parcialmente corrigidos. Apesar da equação apresentar uma tendência positiva, a cultivar IAC 15-1 não apresentou significância em nenhuma das concentrações de Mg, o mesmo ocorrendo com a cultivar DM Nobre na concentração 0,1 mM de Mg (Tabelas 8 e 9).

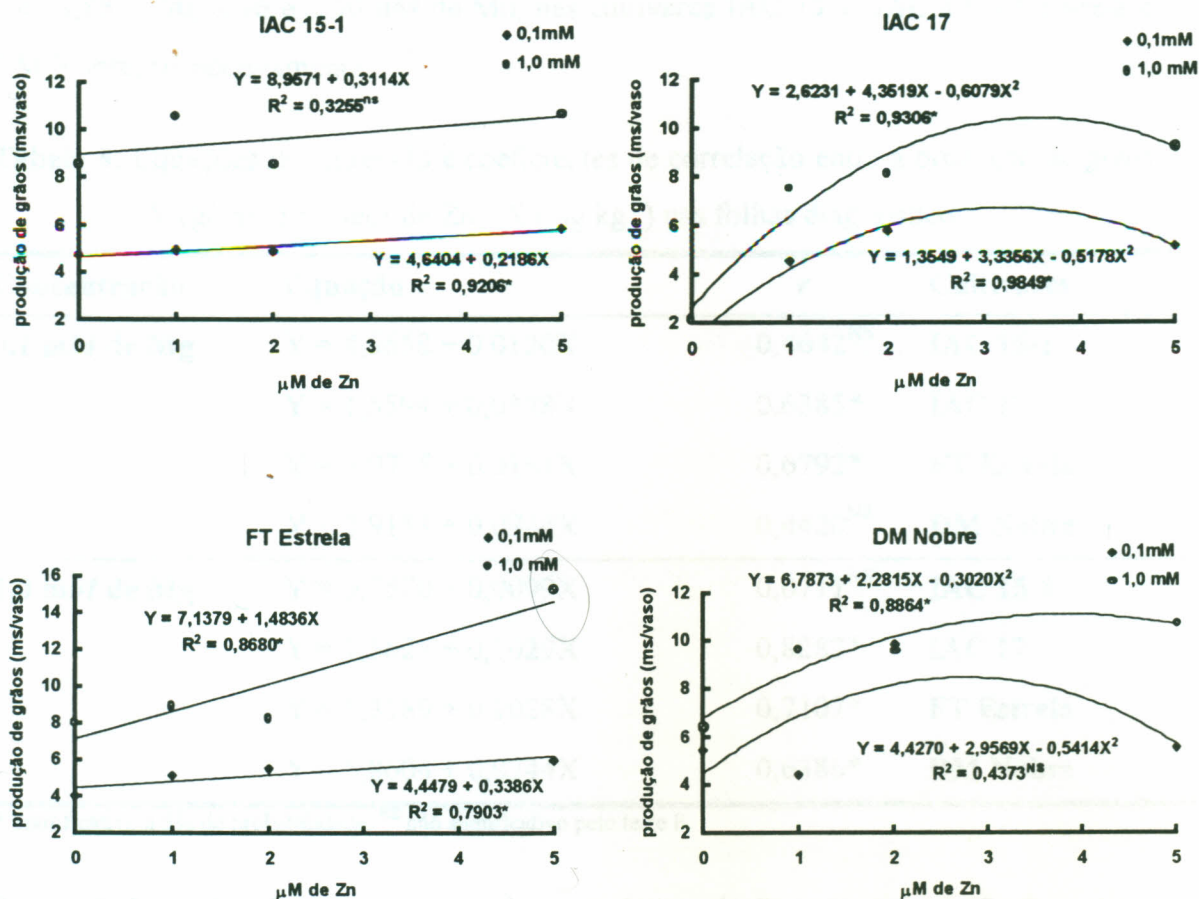


Figura 2. Equações de regressão e coeficientes de determinação das produções de grãos em função das doses de magnésio e zinco - média de três repetições. (* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F)

4.2 Produção de matéria seca total e das várias partes da planta em função das doses de Mg e Mn.

Na Figura 3 estão ilustrados os efeitos das doses de Mn dentro das duas concentrações de Mg sobre a produção de matéria seca total. Verifica-se, no geral, que as cultivares responderam à adição de Mn na solução e que a produção de matéria seca aumentou na dose maior de Mg, exceto no caso da cultivar DM Nobre. O ponto de produção máxima estimado pela equação na dose 0,1 mM de Mg foi obtido nas doses 5,00, 3,23, 3,30 e 3,19 μM de Mn, enquanto que no tratamento 1,0 mM foram obtidos

com 3,88, 3,90, 3,86 e 3,30 μM de Mn, nas cultivares IAC 15-1, IAC 17, FT Estrela e DM Nobre, respectivamente.

Tabela 8. Equações de regressão e coeficientes de correlação entre a produção de grãos - Y (g/vaso) e o teor de Zn - X (mg kg^{-1}) nas folhas diagnóstico.

Concentração	Equação	r	Cultivares
0,1 mM de Mg	$Y = 4,5658 + 0,0120X$	0,4642 ^{NS}	IAC 15-1
	$Y = 1,5594 + 0,0328X$	0,6385*	IAC 17
	$Y = 4,0735 + 0,0161X$	0,6792*	FT Estrela
	$Y = 3,9153 + 0,0744X$	0,4420 ^{NS}	DM Nobre
1,0 mM de Mg	$Y = 9,7570 + 0,0099X$	0,0711 ^{NS}	IAC 15-1
	$Y = 1,5625 + 0,1029X$	0,8282*	IAC 17
	$Y = 5,3189 + 0,1028X$	0,7107*	FT Estrela
	$Y = 5,8604 + 0,0744X$	0,6386*	DM Nobre

* Significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 9. Equações de regressão e coeficientes de correlação entre a produção de matéria seca total - Y (g/vaso) e o teor de Zn - X (mg kg^{-1}) nas folhas diagnóstico.

Concentração	Equação	r	Cultivares
0,1 mM de Mg	$Y = 23,3054 + 0,0759X$	0,4956 ^{NS}	IAC 15-1
	$Y = 8,9266 + 0,0969X$	0,6852*	IAC 17
	$Y = 19,7568 + 0,0743X$	0,7173*	FT Estrela
	$Y = 24,6679 + 0,1095X$	0,5540*	DM Nobre
1,0 mM de Mg	$Y = 28,0638 + 0,1526X$	0,3970 ^{NS}	IAC 15-1
	$Y = 10,8772 + 0,2319X$	0,8071*	IAC 17
	$Y = 18,4026 + 0,3364X$	0,9220*	FT Estrela
	$Y = 26,5983 + 0,3056X$	0,7680*	DM Nobre

* Significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

A menor produção de matéria seca total das plantas submetidas a $0,0 \mu\text{M}$ de Mn é explicada por Ohki (1981), Ohki (1984) e Lindsay & Ross (1988), os quais relataram que o aumento da fotossíntese está diretamente relacionado com a concentração de Mn na planta, e que na sua ausência a produção pode ser **significativamente afetada**. É o que foi revelado pelas leituras SPAD discutidas em 4.6.2.

As Tabelas 10, 11, 12 e 13 e a Figura 4 mostram os efeitos dos tratamentos sobre a produção de matéria seca (MS) das várias partes da planta (folhas, caule, pericarpo, grãos e raízes). Nota-se que com a aplicação de Mg na solução, houve uma tendência de minimizar o efeito de toxidez de Mn. Com já foi mencionado, segundo Kabata Pendias & Pendias (1984), esses dois elementos apresentam valências iguais e raio iônico e grau de hidratação semelhantes, daí a possibilidade da absorção do Mn ter sido afetada pela presença do Mg na solução. Tais resultados confirmam os estudos realizados por Cobra Netto et al. (1971) com *Phaseolus vulgaris* e por Dantas et al. (1979) com *Vigna sinensis* em solução nutritiva, demonstrando que a omissão de magnésio acarreta diminuição significativa na produção de matéria seca.

Munns et al. (1963) discutem as diferenças varietais em relação à tolerância ao excesso de manganês, através de mecanismos de cinética de absorção e translocação do manganês dentro da planta. De modo geral, o Mn absorvido pelas raízes pode chegar ao topo da planta não diretamente, mas através de etapas. As diferenças dos genótipos podem se manifestar de acordo com a variação no volume de manganês acumulado no tecido e na capacidade da planta em liberar esse elemento dentro do vegetal.

Trabalhos realizados por Souto & Döbereiner (1969) relatam variações no grau de tolerância ao manganês entre as diversas espécies cultivadas. Segundo Komatuda et al. (1993), a maior tolerância das cultivares ao excesso de Mn parece estar associada à capacidade de tolerar altos níveis internos de manganês e não a possível mecanismo de sua exclusão desenvolvido pela planta.

O efeito relativo das doses de Mn obtidos pelo Índice de Eficiência (IE), método esse, adaptado do proposto por Moreira (1997) para produção de matéria seca total, foram de 19,67, 16,98, 12,03 e 8,06 na dose 0,1 mM de Mg e 10,64, 13,31, 10,16 e 8,45 na dose 1,0 mM de Mg, nas cultivares IAC 15-1, IAC 17, FT Estrela e DM Nobre, respectivamente. Percebe-se que a cultivar DM Nobre apresentou os menores IE, necessitando de doses maiores nas duas concentrações de Mg para obtenção do máximo de resposta na produção, enquanto que as cultivares IAC 15-1 e 17 nas doses 0,1 e 1,0 mM, respectivamente, mostraram ser as mais eficientes nas relações entre as doses de Mn e a produção de matéria total. A FT Estrela apresentou índices intermediários.

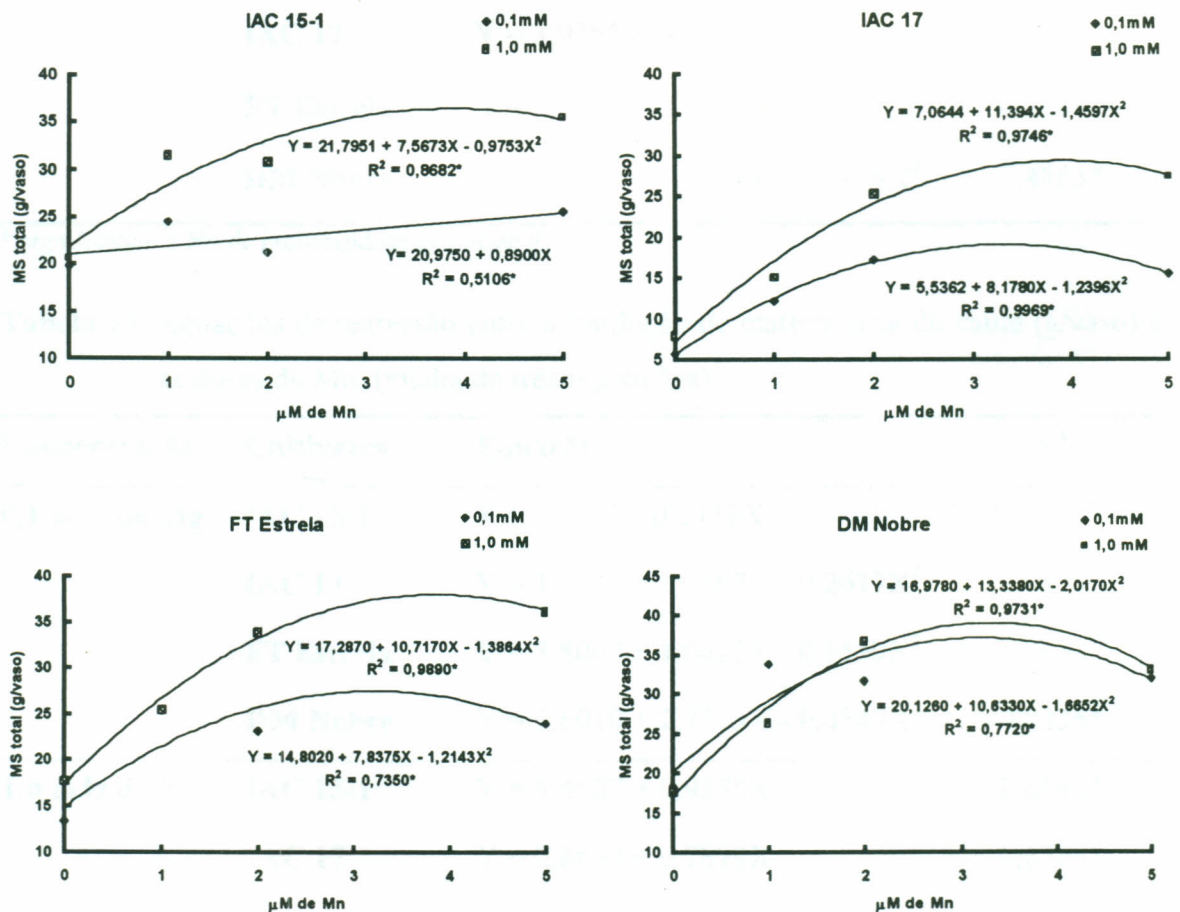


Figura 3. Equações de regressão e coeficientes de determinação das produções de matéria seca total em função das doses de magnésio e manganês - média de três repetições. (* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F)

Tabela 10. Equações de regressão entre a produção de matéria seca das folhas (g/vaso) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 4,0951 + 1,3218X - 0,2001X^2$	0,6366*
	IAC 17	$Y = 2,8085 + 3,6843X - 0,6174X^2$	0,9999*
	FT Estrela	$Y = 7,2634 + 2,5419X - 0,4121X^2$	0,5094*
	DM Nobre	$Y = 9,0077 + 5,1599X - 0,8203X^2$	0,6778*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 5,5792 + 0,8619X$	0,7512*
	IAC 17	$Y = 3,9765 + 0,7321X$	0,6970*
	FT Estrela	$Y = 7,7245 + 0,9198X$	0,7086*
	DM Nobre	$Y = 5,0858 + 3,5844X - 0,5298X^2$	0,4863*

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 11. Equações de regressão entre a produção de matéria seca do caule (g/vaso) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 5,5107 - 0,0329X$	0,0112 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 1,3633 + 1,7167X - 0,2617X^2$	0,9854*
	FT Estrela	$Y = 3,8067 + 1,0425X - 0,1559X^2$	0,4896 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 5,6010 + 2,7313X - 0,4149X^2$	0,7335*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 5,4407 + 0,9255X$	0,6642*
	IAC 17	$Y = 2,8634 + 0,7879X$	0,8768*
	FT Estrela	$Y = 6,3204 + 0,6219X$	0,4841*
	DM Nobre	$Y = 6,6444 + 0,8007X$	0,5440*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 12. Equações de regressão entre a produção de matéria seca do pericarpo (g/vaso) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,7134 + 0,1412X$	0,8013*
	IAC 17	$Y = 0,8538 + 0,2547X$	0,9163*
	FT Estrela	$Y = 1,6125 + 0,3217X$	0,6022*
	DM Nobre	$Y = 2,3657 + 1,0623X - 0,1547X^2$	0,6210 ^{NS}
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 3,8412 + 0,0819X$	0,6366*
	IAC 17	$Y = 1,5592 + 0,6233X$	0,6788*
	FT Estrela	$Y = 2,1181 + 0,5826X$	0,4800*
	DM Nobre	$Y = 2,3660 + 1,0618X - 0,1546X^2$	0,6208*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 13. Equações de regressão entre a produção de matéria seca de raízes (g/vaso) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,1065 + 0,2843X - 0,0415X^2$	0,4448 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 0,2811 + 0,0657X$	0,7665*
	FT Estrela	$Y = 0,5797 + 0,9372X - 0,1411X^2$	0,7803 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 1,1438 + 2,5670X - 0,3954X^2$	0,9681*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,1075 + 0,9253X - 0,1064X^2$	0,9572*
	IAC 17	$Y = 0,4768 + 0,2879X$	0,7611*
	FT Estrela	$Y = 1,7182 + 0,3221X$	0,8283*
	DM Nobre	$Y = 1,2788 + 1,2706X - 0,1863X^2$	0,8895*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

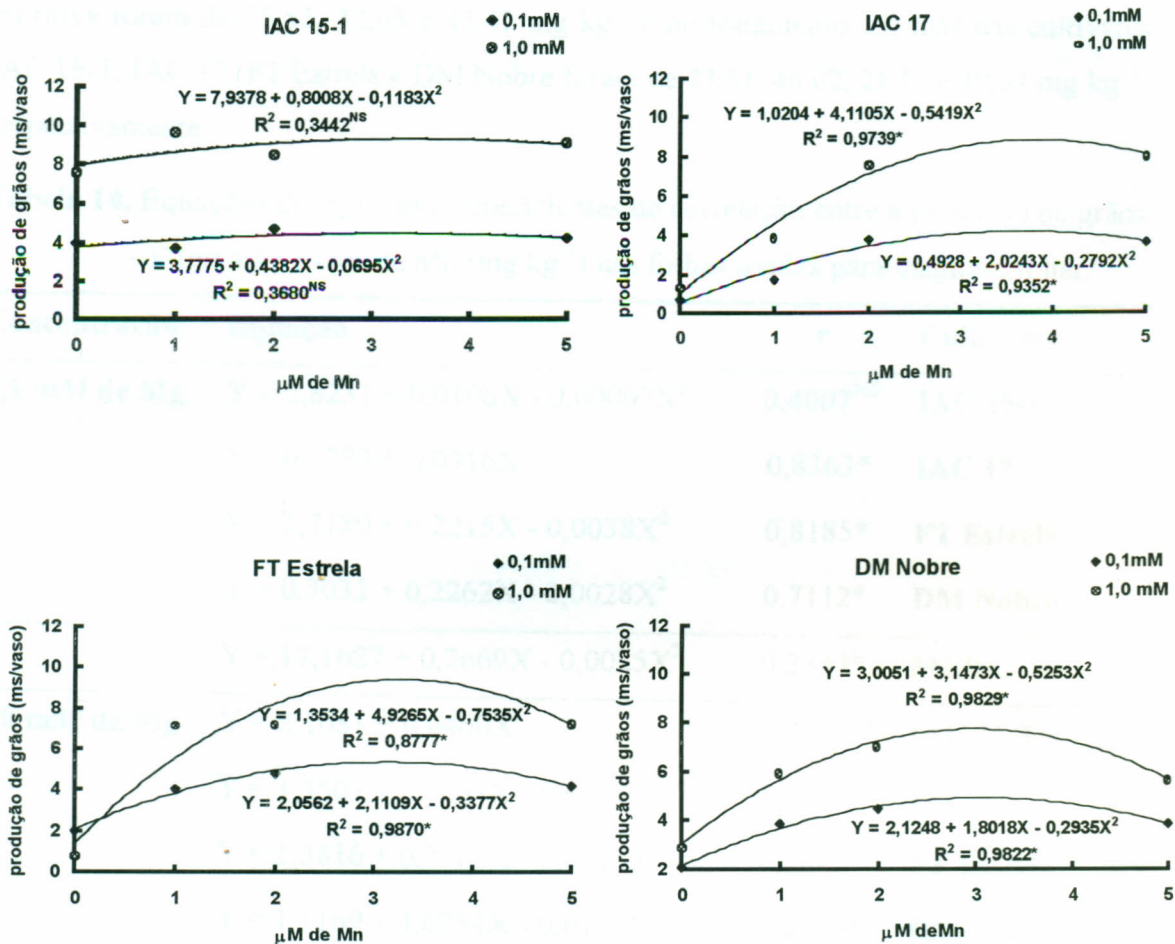


Figura 4. Equações de regressão e coeficientes de determinação das produções de grãos em função das doses de magnésio e manganês - média de três repetições. (* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F)

A Tabela 14 mostra que as correlações entre o Mn e a produção de grãos são descritas por uma equação do segundo grau, exceto na cultivar IAC 17. Os níveis que deram os pontos de produção máxima estimados para os tratamentos IAC 17, FT Estrela, DM Nobre foram de 24,66, 29,14 e 40,39 mg kg⁻¹ no tratamento 0,1 mM e de 47,46, 17,45 e 41,04mg kg⁻¹ no tratamento 1,0 mM de Mg.

No caso da matéria seca total (Tabela 15), os níveis estimados para produção máxima nas cultivares IAC 17, FT Estrela e DM Nobre com 0,1 mM de Mg na solução

nutritiva foram de 75,53, 32,65 e 45,42 mg kg⁻¹ e no tratamento 1,0 mM nas cultivares IAC 15-1, IAC 17, FT Estrela e DM Nobre foram de 23,51, 46,02, 21,17 e 49,67 mg kg⁻¹, respectivamente.

Tabela 14. Equações de regressão e coeficientes de correlação entre a produção de grãos - Y (g/vaso) e teor de Mn (mg kg⁻¹) nas folhas usadas para diagnose foliar.

Concentração	Equação	r	Cultivares
0,1 mM de Mg	$Y = 3,8231 + 0,0106X - 0,00003X^2$	0,4007 ^{NS}	IAC 15-1
	$Y = 0,7793 + 0,0316X$	0,8363*	IAC 17
	$Y = 1,7180 + 0,2215X - 0,0038X^2$	0,8185*	FT Estrela
	$Y = 0,3031 + 0,2262X - 0,0028X^2$	0,7112*	DM Nobre
	$Y = 17,1627 + 0,2669X - 0,0025X^2$	0,3347*	Média
1,0 mM de Mg	$Y = 8,1081 + 0,0460X$	0,4011 ^{NS}	IAC 15-1
	$Y = 1,3507 + 0,5031X - 0,0053X^2$	0,8854*	IAC 17
	$Y = 1,3816 + 0,7783X - 0,0223X^2$	0,7812*	FT Estrela
	$Y = 1,1169 + 1,6254X - 0,0198X^2$	0,8270*	DM Nobre
	$Y = 16,7079 + 0,8103X - 0,0088X^2$	0,5957*	Média

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Correlacionando os teores de Mn com as produções de matéria seca total (Tabela15) e comparando-os com outros ensaios, como por exemplo, o trabalho desenvolvido por Oliveira Jr (1996), com a cultivar IAC 14 e doses de Mn em solução nutritiva, que obteve a produção máxima com o teor de 31,0 mg kg⁻¹, e com o Mascarenhas et al. (1980), em estudos com quinze cultivares, encontraram um valor médio de 27,5 mg kg⁻¹, observa-se que esses valores estão próximos dos encontrados no presente trabalho.

Mengel et al. (1987) cita que para se obter uma boa produtividade o teor de Mn nos trifólios totalmente desenvolvidos, colhidos antes da formação das vagens deve estar na faixa de 15 a 200 mg kg⁻¹. De acordo com a revisão de literatura feita com os

trabalhos de Ohlrogge (1963), Ohki (1976) e Reuter et al. (1997), verifica-se que o nível crítico de Mn para soja está na faixa de 10 a 20 mg kg⁻¹.

Tabela 15. Equações de regressão e coeficientes de correlação entre a produção de matéria seca total - Y (g/vaso) e teor de Mn (mg kg⁻¹) nas folhas usadas para diagnose foliar.

Concentração	Equação	r	Cultivares
0,1 mM de Mg	$Y = 24,6356 + 0,0555X$	0,4902 ^{NS}	IAC 15-1
	$Y = 0,8519 + 0,4532X - 0,0030X^2$	0,9117*	IAC 17
	$Y = 13,7376 + 0,8424X - 0,0149X^2$	0,7175*	FT Estrela
	$Y = 0,0643 + 0,3270X - 0,0036X^2$	0,7616*	DM Nobre
	$Y = 2,7034 + 0,0344X - 0,0002X^2$	0,3365*	Média
1,0 mM de Mg	$Y = 20,3281 + 1,3121X - 0,0279X^2$	0,8958*	IAC 15-1
	$Y = 1,3753 + 1,5832X - 0,0172X^2$	0,9172*	IAC 17
	$Y = 16,2054 + 1,8925X - 0,0447X^2$	0,9545*	FT Estrela
	$Y = 3,3010 + 1,4207X - 0,0143X^2$	0,9037*	DM Nobre
	$Y = 4,3355 + 0,1657X - 0,0019X^2$	0,3547*	Média

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

4.3 Teor dos nutrientes nas folhas usadas para diagnose

A média dos teores dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn) encontrados nas quatro cultivares nos dois experimentos realizados em solução nutritiva (Mg e Zn e Mg e Mn) são apresentados na Tabela 16.

4.3.1 Experimento com Mg e Zn

Neste experimento, exceto os teores de Fe e Zn nas concentrações 0,1 e 1,0 mM e o teor de Mg na concentração 0,1 mM de Mg, os demais nutrientes estão na faixa

considerada adequada quando comparados com os valores obtidos por Vitti (1982) e Reuter et al. (1997).

Pelas análises de regressão, somente os teor de P, Ca, Fe e Zn foram afetados significativamente pelas doses de Zn nas duas concentrações de Mg, por isso nas Tabelas 17, 18, 19 e 20, são apresentados somente esses elementos. Pode-se observar que as significâncias obtidas, corroboram os argumentos de López Gorostiaga (1972), Mengel & Kirkby (1987), Loué (1993), Marschner (1995) e Malavolta et al. (1997), de que ocorrem interações (antagonismo, sinergismo, inibição competitiva ou não) que afetam significativamente a absorção desses elementos pela planta.

Mesmo não apresentando diferença significativa, observou-se efeito interiônico entre o N e Zn, sendo este mais pronunciado nos tratamentos com 0,1 mM de Mg, nas cultivares recomendadas para solos naturalmente férteis (IAC 17 e FT Estrela). Nestas duas cultivares o teor de N variou de 49,5 g kg⁻¹ na testemunha até 60,0 g kg⁻¹ na dose 5,0 µM de Zn. A literatura sobre esse assunto é ampla e mostra várias explicações para o mesmo fenômeno (Thorne, 1957; Loneragan & Webb, 1993 e Loué, 1993).

Na Tabela 17, exceto para as cultivares FT Estrela na concentração 0,1 e 1,0 mM e DM Nobre na concentração 1,0 mM de Mg, nota-se que os demais tratamentos apresentaram uma diminuição significativa ($p < 0,05$) no teor de P com o aumento das doses de Zn. Os dados revelam que com o aumento das doses de zinco ocorre uma inibição na absorção e, provavelmente, uma redução no transporte a longa distância do fósforo. Estes resultados ratificam os obtidos por López Gorostiaga (1972) e Loneragan et al. (1982), que observaram uma redução no teor de fósforo quando houve um aumento na concentração de zinco na solução, influenciado, possivelmente, pela existência de inibição não competitiva entre o P e Zn.

O teor de P no tecido diminuiu com o aumento da concentração de Mg, resultado que contraria uma expectativa inicial, visto que segundo Malavolta (1980) e Malavolta et al. (1997), o magnésio aumenta a absorção de fósforo pelas plantas, possivelmente, pela sua participação na ativação da ATPases das membranas implicadas na absorção iônica. Outra hipótese, é que o menor teor de P neste tratamento ocorreu em decorrência do efeito de diluição na planta (Malavolta, 1980 e Marschner, 1995).

Tabela 16. Teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn nas folhas usadas para o diagnóstico foliar. (média dos quatro tratamentos e das três repetições)

Concentração Experimento	Nutrientes	IAC 15-1		IAC 17		FT Estrela		DM Nobre		
		Mg x Zn	Mg x Mn	Mg x Zn	Mg x Mn	Mg x Zn	Mg x Mn	Mg x Zn	Mg x Mn	
0,1 mM de Mg		$g\ kg^{-1}$								
	N	46,75	32,48	55,70	39,23	54,75	37,60	50,70	35,34	
	P	6,29	1,35	6,34	2,40	4,48	1,41	3,97	1,68	
	K	17,40	25,41	17,40	28,37	20,80	27,59	16,00	22,60	
	Ca	17,25	9,54	17,32	21,28	12,50	9,60	14,38	12,49	
	Mg	3,21	1,11	4,75	2,09	4,85	1,32	3,63	1,49	
	S	2,38	1,18	3,19	1,22	3,50	1,23	2,08	1,11	
			$mg\ kg^{-1}$							
	Cu	6,52	6,11	8,15	8,92	10,22	6,92	9,91	8,58	
	Fe	433,04	113,31	545,22	92,08	454,66	98,47	414,51	117,17	
Mn	36,92	35,61	63,63	52,75	43,42	19,67	34,31	30,56		
Ni	0,95	1,57	0,95	1,88	1,00	1,86	1,00	1,51		
Zn	69,91	52,50	72,68	86,78	77,41	74,39	52,21	71,81		
1,0 mM de Mg		$g\ kg^{-1}$								
	N	48,30	32,18	52,25	36,48	52,25	37,26	39,15	26,56	
	P	4,41	1,72	4,46	2,16	4,40	1,26	3,47	1,47	
	K	15,00	24,27	20,60	23,71	19,60	25,73	15,20	22,97	
	Ca	7,20	8,04	10,41	13,72	11,66	6,84	6,91	8,62	
	Mg	3,23	3,64	5,21	4,77	5,86	3,62	4,66	4,61	
	S	2,82	1,51	4,01	1,32	3,45	1,49	2,42	1,43	
			$mg\ kg^{-1}$							
	Cu	6,95	7,75	9,69	6,92	10,22	5,33	9,97	9,00	
	Fe	455,38	116,36	498,80	76,91	375,43	86,31	440,67	101,42	
Mn	21,75	11,81	53,75	24,58	43,42	11,31	30,99	36,75		
Ni	0,85	1,59	0,65	1,48	0,80	1,70	1,10	1,61		
Zn	43,83	56,50	46,53	53,86	45,12	52,72	52,33	59,08		

Tabela 17. Equações de regressão entre o teor de P (g kg^{-1}) encontrado nas folhas usadas para diagnose foliar e as doses de Zn. (médias de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 6,1738 - 0,2736X$	0,8510*
	IAC 17	$Y = 5,2546 - 0,6319X$	0,5578*
	FT Estrela	$Y = 3,9108 + 0,2087X$	0,5232 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 4,9708 - 0,3555X$	0,6961*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 4,9448 - 0,1124X$	0,7823*
	IAC 17	$Y = 3,4434 + 1,0259X - 0,1879X^2$	0,9903*
	FT Estrela	$Y = 4,2457 - 0,1137X$	0,5808 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 3,7468 - 0,0888X$	0,2852 ^{NS}

* significativo a 5% de probabilidade ; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Verifica-se na Tabela 18, que o efeito de inibição entre o Zn e Ca descrito por Kabata Pendias & Pendias (1984), Loneragan & Webb (1993) e Malavolta et al. (1997) foi significativo somente na cultivar IAC 17 nas duas concentrações de Mg e na cultivar DM Nobre na concentração 0,1 mM. Nas cultivares FT Estrela e DM Nobre na concentração 1,0 mM de Mg, ocorreu efeito positivo do Zn sobre a absorção de Ca. O aumento da concentração de magnésio na solução deve ter diminuído a absorção de zinco nas doses maiores, aumentando com isso, a do cálcio (Loneragan & Webb, 1993 e Malavolta et al., 1997).

Com relação à Tabela 19, no geral, na ausência de Zn, independentemente da concentração de Mg, ocorre um aumento significativo na absorção de Fe pelas plantas. Tal observação, corrobora a interação negativa entre o Zn e Fe, relatadas por Malavolta (1980), Kabata Pendias & Pendias (1984), Bergmann (1992) e Welch (1995). Segundo esses autores, a absorção de ferro pelas plantas é geralmente reduzida quando existem na solução altas concentrações de zinco, sendo que o inverso também pode ocorrer.

Tabela 18. Equações de regressão entre o teor de Ca (g kg^{-1}) encontrados nas folhas usadas para diagnose foliar e as doses de Zn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 15,4790 - 1,3101X$	0,1822 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 22,3714 - 2,7736X$	0,5753*
	FT Estrela	$Y = 6,4982 + 0,6593X$	0,4200 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 10,6139 - 0,6557X$	0,9221*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 8,6628 - 0,6153X$	0,3782 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 13,6786 - 1,7643X$	0,7851*
	FT Estrela	$Y = 6,2600 + 0,9450X$	0,5429*
	DM Nobre	$Y = 8,3006 + 4,2379X + 0,9931X^2$	0,6849*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Conforme as análises de regressão, o teor de zinco na folha aumentou significativamente com o aumento das doses de zinco em todas as cultivares (Tabela 20). Resultado similar foi encontrado por Silva et al. (1986) com a cultivar IAC 7 em condições de campo e com Lo & Reisenauer (1968) com alfafa. Exceto na cultivar IAC 15-1, com o aumento da concentração de Mg, a redução no teor de Zn foi mais significativa, apresentando uma diminuição de, aproximadamente, 21% na dose zero de zinco.

O aumento da concentração de Mg diminuiu o teor de Zn na média, em 31% na dose 5,0 μM de Zn (Tabela 20). Este resultado pode ser explicado, também, pelos efeitos de diluição, visto que, quando se compara os mesmos tratamentos com a produção de matéria seca total, nota-se um incremento em torno 34,4% com a aplicação de magnésio na solução.

Tabela 19. Equações de regressão entre o teor de Fe (mg kg^{-1}) encontrado nas folhas usadas para diagnose foliar e as doses de Zn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 363,0518 - 22,0271X$	0,7553*
	IAC 17	$Y = 435,0711 - 28,6743X$	0,5760*
	FT Estrela	$Y = 380,4789 - 25,9807X$	0,8025*
	DM Nobre	$Y = 335,5600 + 4,6933X$	0,0142 ^{NS}
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 262,7200 + 30,6160X - 6,2987X^2$	0,7317 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 483,2955 - 171,5822X + 25,5579X^2$	0,8918*
	FT Estrela	$Y = 391,6418 - 39,3771X$	0,7217*
	DM Nobre	$Y = 440,6983 - 130,1808X + 20,1718X^2$	0,8789*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F

Comparativamente com outros ensaios em solução nutritiva, observa-se que, exceto as testemunhas nas concentrações 0,1 e 1,0 mM de Mg, nos quais os teores estavam abaixo dos considerados adequados por Ohki (1978), Malavolta et al. (1980) e Vitti (1982), os demais teores de Zn nas quatro cultivares (Tabela 20) estavam de acordo com os citados na literatura para soja bem suprida em zinco.

Nas quatro cultivares, o teor de Mg na folha das plantas sob a concentração de 1,0 mM ficou na faixa considerada adequada por Reuter et al. (1997) no estágio R1 (escala de Fehr et al., 1971), que é de 3,0 a 5,5 g kg^{-1} . O alto teor na cultivar IAC 17, na testemunha da concentração 0,1 mM de Mg, pode ser explicado pelo efeito de concentração, descritos por Malavolta (1980), Mengel & Kirkby (1987) e Marschner (1995).

Tabela 20. Equações de regressão entre o teor de Zn (mg kg^{-1}) encontrado nas folhas usadas para diagnose foliar e as doses de Zn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 17,1692 + 12,6767X$	0,9803*
	IAC 17	$Y = 34,2671 + 17,1064X$	0,8145*
	FT Estrela	$Y = 25,1950 + 19,6150X$	0,9987*
	DM Nobre	$Y = 25,5377 + 10,4874X$	0,8627*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 28,8157 + 4,6371X$	0,7794*
	IAC 17	$Y = 29,9764 + 10,4943X$	0,8016*
	FT Estrela	$Y = 26,9135 + 9,7879X$	0,7823*
	DM Nobre	$Y = 22,0401 + 10,0495X$	0,9884*

* significativo a 5% de probabilidade teste F.

As regressões entre os teores de P com Zn nas folhas na concentração 1,0 mM de Mg, apesar do efeito negativo, as correlações não foram significativas nas quatro cultivares estudadas (Tabela 21), ou seja, não ocorreu qualquer relação entre os teores desses dois nutrientes. A concentração mínima de magnésio (0,1 mM) afetou significativamente ($p < 0,05$) o teor de P nas cultivares IAC 15-1, IAC 17 e DM Nobre, com aumento do teor de Zn na planta.

Nas quatro cultivares, o teor de Mg nas folhas usadas para diagnose na concentração 1,0 mM ficou na faixa considerada adequada por Reuter et al. (1997) no estágio R1 (escala de Fehr et al., 1971), que é de 3,0 a 5,5 g kg^{-1} . O alto teor na testemunha da cultivar IAC 17 na concentração 0,1 mM de Mg pode ser explicado pelo efeito de concentração (Marschner, 1995).

Da mesma forma, exceto na cultivar IAC 17, não ocorreu qualquer relação entre o Ca e o Zn na concentração 1,0 mM de Mg. Isto indica que a variação na concentração de zinco na solução externa, neste tratamento, não causou interferência nos processos de absorção e transporte do cálcio. Nos tratamentos com 0,1 mM de Mg, os

teores de Ca nas cultivares IAC 17, FT Estrela e DM Nobre diminuíram com o aumento do teor de Zn na solução (Tabela 22).

Tabela 21. Equações de regressão e coeficiente de correlação entre os teores de P - Y (g kg^{-1}) e os teores de Zn - X (mg kg^{-1}) nas folhas diagnóstico.

Concentração	Equação	r	Cultivares
0,1 mM de Mg	$Y = 6,1464 - 0,0507X$	0,7058*	IAC 15-1
	$Y = 6,8550 - 0,0440X$	0,8502*	IAC 17
	$Y = 3,6077 - 0,0112X$	0,6482 ^{NS}	FT Estrela
	$Y = 5,7264 - 0,0315X$	0,7602*	DM Nobre
1,0 mM de Mg	$Y = 5,5626 - 0,0222X$	0,5887 ^{NS}	IAC 15-1
	$Y = 3,4221 + 0,0129X$	0,4398 ^{NS}	IAC 17
	$Y = 4,2966 - 0,0060X$	0,1958 ^{NS}	FT Estrela
	$Y = 3,7752 - 0,0049X$	0,1712 ^{NS}	DM Nobre

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 22. Equações de regressão e coeficientes de correlação entre os teores de Ca - Y (g kg^{-1}) e os teores de Zn - X (mg kg^{-1}) nas folhas diagnóstico.

Concentração	Equação	r	Cultivares
0,1 mM de Mg	$Y = 34,1224 - 0,4168X$	0,4779 ^{NS}	IAC 15-1
	$Y = 27,9775 - 0,1630X$	0,8629*	IAC 17
	$Y = 5,1060 + 0,0473X$	0,7236*	FT Estrela
	$Y = 11,6328 - 0,0506X$	0,7290*	DM Nobre
1,0 mM de Mg	$Y = 14,0344 - 0,1733X$	0,5114 ^{NS}	IAC 15-1
	$Y = 17,7782 - 0,1488X$	0,8390*	IAC 17
	$Y = 9,0429 - 0,0033X$	0,0279 ^{NS}	FT Estrela
	$Y = 12,9787 - 0,0867X$	0,4055 ^{NS}	DM Nobre

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

As correlações entre os teores de Fe e Zn nas folhas usadas para diagnose, exceto na cultivar DM Nobre, foram nas duas concentrações de Mg, negativas e significativas ($p < 0,05$), indicando que o aumento dos teores de zinco provocaram uma diminuição nos teores de ferro (Tabela 23). Este resultado pode ter sido induzido pela similaridade do raio iônico, valência e eletronegatividade desses dois elementos (Kabata Pendias & Pendias, 1984), afetando a absorção de Fe pelas plantas.

4.3.2 Experimento com Mg e Mn

Nas Tabelas 24, 25, 26 e 27 são apresentados os efeitos significativos ($p < 0,05$) das doses de Mn sobre os teores foliares de N, P, Mg, Fe, Mn e Zn (os demais nutrientes analisados não foram afetados significativamente - $p > 0,05$).

A Tabela 24 mostra que o Mn afetou o teor foliar de N. Tal resultado é corroborado por Ohki (1981) e Burnell (1988), e pode estar relacionado com o seu papel na redução do nitrito, um dos principais passos para a entrada do elemento em compostos orgânicos.

Agarwala et al. (1988), estudando as interações entre o ferro, o manganês e o magnésio em brássica, observaram que na deficiência de Mn, a concentração de DNA (ácido desoxiribonucleico) é severamente afetada, podendo por isso ter reduzido significativamente à formação de compostos protéicos.

Na Tabela 24 são apresentados os efeitos do Mg e Mn no teor de P nas folhas. Observam-se respostas diferenciadas das cultivares em relação às doses de Mg e Mn. Na dose 0,1 mM de Mg, nas cultivares indicadas para solos parcialmente corrigidos, houve decréscimo no teor de P nas doses intermediárias (1 e 2 μM), e uma tendência de aumento na maior dose de Mn aplicada. O aumento no teor P nas doses mais elevadas ocorreu devido ao efeito de concentração descrito por Marschner (1995), visto que, na dose 5 μM houve, conforme a cultivar avaliada, um decréscimo ou tendência de estabilização na produção de matéria seca total (Figura 1).

Tabela 23. Equações de regressão e coeficientes de correlação entre o teor de Fe - Y (mg kg⁻¹) e os teores de Zn - X (mg kg⁻¹) nas folhas diagnóstico.

Concentração	Equação	r	Cultivares
0,1 mM de Mg	$Y = 369,6325 - 1,8257X$	0,8223*	IAC 15-1
	$Y = 491,0700 - 2,3247X$	0,7232*	IAC 17
	$Y = 415,2610 - 1,3464X$	0,8112*	FT Estrela
	$Y = 283,8927 - 0,1808X$	0,1850 ^{NS}	DM Nobre
0,1 mM de Mg	$Y = 583,8565 - 6,2722X$	0,7357*	IAC 15-1
	$Y = 534,3659 - 3,0528X$	0,8891*	IAC 17
	$Y = 500,4680 - 4,6566X$	0,7535*	FT Estrela
	$Y = 438,3600 - 2,5179X$	0,6734 ^{NS}	DM Nobre

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 24. Equações de regressão entre o teor de N (g kg⁻¹) encontrado nas folhas usadas para diagnose foliar e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 34,2640 - 1,7040X + 0,2165X^2$	0,9978*
	IAC 17	$Y = 38,3819 + 0,4224X$	0,9119*
	FT Estrela	$Y = 34,9507 + 1,3238X$	0,6968*
	DM Nobre	$Y = 36,4042 + 0,5305X$	0,5261*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 28,5525 + 2,3133X$	0,5164*
	IAC 17	$Y = 37,6559 + 0,5905X$	0,5833*
	FT Estrela	$Y = 34,4932 + 1,3821X$	0,7315*
	DM Nobre	$Y = 24,7063 + 2,9284X - 0,5339X^2$	0,6800*

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

No caso do tratamento 1,0 mM, esperava-se que o Mg aumentasse a absorção de P (Huguet & Coppentet, 1992) e diminuísse o provável efeito de inibição existente entre o P e Mn, inibição esta, possivelmente semelhante ao que ocorre com o Zn. Conforme Kabata Pendias & Pendias (1984), o Mn e Zn mostram uma mesma afinidade para associar com a maioria dos elementos em vários meios geoquímicos. Tal resultado porém não ocorreu (Tabela 25): verifica-se que com o aumento das doses de Mn nesse tratamento (1,0 mM Mg) houve uma queda significativa no teor de P nas folhas. Jones & Fox (1978), estudando os efeitos do manganês nos tratamentos com doses de fósforo em tomateiro, notaram que a toxidez de Mn diminuiu significativamente com o aumento do P disponível no solo.

O teor de magnésio nas folhas, exceto no caso da cultivar IAC 17, foi afetado negativamente ($p < 0,05$) no tratamento com 1,0 mM de Mg (Tabela 26). O mesmo não pode ser observado no tratamento com 0,1 mM de Mg. Löhnis (1960), trabalhando com várias leguminosas, observou uma diminuição no teor de Mn na presença de Mg, fato esse também citado por Mengel & Kirkby (1987) e Santos et al. (1994). Tais resultados podem ser explicados pelo fato já apontado (4.2).

Mass et al. (1969), estudando a influência do tempo na absorção de Mg e Mn, com raízes destacadas de mudas cevada, observaram que o teor de magnésio foi significativamente afetado com o aumento da concentração de Mn na solução. Segundo esses autores, isso pode ser resultado da baixa seletividade no transporte iônico da estrutura da membrana ou pelo carregador.

Ao contrário que ocorreu com as demais cultivares, observa-se, pela equação de regressão no tratamento com 0,1 mM de Mg, que na FT Estrela houve uma tendência em aumentar o teor Mn, dado o componente quadrático da equação (Tabela 26).

O teor de ferro, quando significativo ($p < 0,05$), diminuiu com o aumento das doses do Mn aplicado (Tabela 26). Conforme Adriano (1986), Clarkson (1988), Loué (1993) e Malavolta et al. (1997), existe a presença do efeito de inibição entre estes dois elementos. Komatuda (1988), em estudo com quatro cultivares de soja (Cristalina,

Doko, UFV-1 e UFV-4), também observou que com o aumento das doses de Mn, o teor de Fe nas folhas diminuiu significativamente. Resultado semelhante também foi encontrado por Oliveira Jr (1996) em soja cultivada em solução nutritiva e coletada no mesmo estágio fisiológico (R7), porém, com a cultivar IAC 14 (indicada como sensível a altas concentrações de manganês).

Segundo Foy (1984), o Mn e o Fe estão intimamente relacionados na nutrição de plantas, e em alguns trabalhos tem se usado a relação Fe/Mn em plantas superiores como um indicador da toxidez de Mn. Vitti & Luz (1998) verificaram que em áreas com deficiência de Mn (má drenagem), a relação Fe/Mn nas folhas era de 2,0/1,0 (218 e 109 mg dm⁻³, respectivamente), enquanto que em áreas sem problemas visuais essa relação era de 1,0/1,0 (111 e 101 mg dm⁻³, respectivamente), sugerindo haver uma inibição entre os mesmos, sendo o Fe²⁺ mais absorvido que o Mn²⁺ em condições de ambiente redutor.

Tabela 25. Equações de regressão entre o teor de P (g kg⁻¹) encontrado nas folhas usadas para diagnose foliar e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,5233 - 0,2576X + 0,0460X^2$	0,9537*
	IAC 17	$Y = 2,3563 + 0,1318X - 0,0294X^2$	0,3385 ^{NS}
	FT Estrela	$Y = 1,5196 - 0,0569X$	0,9374*
	DM Nobre	$Y = 2,0055 - 0,4372X + 0,4149X^2$	0,8981*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,8334 - 0,0555X$	0,9401*
	IAC 17	$Y = 2,5005 - 0,1686X$	0,8768*
	FT Estrela	$Y = 1,3461 - 0,0418X$	0,3633 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 1,5707 - 0,0445X$	0,8895*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

O teor de manganês na folha diagnose variou linearmente e de modo significativo ($p < 0,05$) em função das diferentes doses de Mn na solução nutritiva. A

Tabela 28 apresenta a média do teor dos dois folíolos usados para diagnose nas duas concentrações de Mg, destacando o menor teor de Mg na cultivar FT Estrela e maior teor na cultivar IAC 17, independentemente da concentração de Mg utilizada. Foy (1976) e Ohki et al. (1980) explicam essa diferença, visto que além da existência dos efeitos de concentração descritos por Malavolta (1980) e Marschner (1995), existe uma tolerância diferencial à absorção de Mn entre cultivares sendo esta controlada geneticamente. Algumas plantas podem ser sensíveis ao manganês, enquanto outras podem mostrar tolerância ao excesso desse elemento. Foy (1976) salienta que a tolerância ao excesso de manganês têm sido atribuída a genes aditivos, que apresentam pouca ou nenhuma dominância.

Tabela 26. Equações de regressão entre o teor de Mg (g kg^{-1}) encontrado nas folhas usadas para diagnose foliar e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,0459 + 0,0333X$	0,2956 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 2,1829 - 0,0477X$	0,1324 ^{NS}
	FT Estrela	$Y = 2,0092 - 0,8619X + 0,1381X^2$	0,8640*
	DM Nobre	$Y = 1,4780 - 0,0690X$	0,2862 ^{NS}
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 4,3404 - 0,3512X$	0,5844*
	IAC 17	$Y = 4,6515 + 0,1313X - 0,0197X^2$	0,9989 ^{NS}
	FT Estrela	$Y = 3,9690 - 0,1762X$	0,5497*
	DM Nobre	$Y = 5,2411 - 0,3143X$	0,7001*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Os maiores teores de Mn encontrados foram de 106,64 e 57,44 mg kg^{-1} na cultivar IAC 17 e o menores foram de 41,88 e 24,59 mg kg^{-1} na cultivar FT Estrela, ambos nos tratamentos com 0,1 e 1,0 mM de Mg, respectivamente. Como já reportado anteriormente, tal resultado mostra novamente o efeito de interação negativa do Mg afetando a absorção de Mn.

Tabela 27. Equações de regressão entre o teor de Fe (mg kg^{-1}) encontrado nas folhas usadas para diagnose foliar e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 89,0677 - 12,1190X$	0,8907*
	IAC 17	$Y = 93,1300 - 0,5236X$	0,1401 ^{NS}
	FT Estrela	$Y = 92,6120 - 11,7176X + 3,5059X^2$	0,8708 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 153,7380 - 18,2857X$	0,5679*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 122,7100 - 3,1746X$	0,1186 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 80,6148 - 8,9288X$	0,6434*
	FT Estrela	$Y = 76,5620 + 17,9690X - 3,4927X^2$	0,3026 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 108,8900 - 4,2381X$	0,5727*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

O teor foliar de Mn obtido sob os dois níveis de Mg na solução está abaixo ou na faixa considerada adequada por Reuter et al. (1997) obtidos nos trifólios, que é de 44 a 69 mg kg^{-1} . Para Malavolta (1978) e Tanaka et al. (1982), o teor de suficiência de manganês nas folhas de soja mais novas recém-amadurecidas, colhidas no fim do florescimento com pecíolo excluído, está na faixa de 21 a 100 mg kg^{-1} .

Observa-se na Tabela 29, que as doses de Mn afetaram a absorção de Zn, independentemente das cultivares e das concentrações de Mg. Brar & Sekhon (1976), estudando o efeito do manganês na absorção de ⁶⁵Zn em mudas de arroz, observaram um decréscimo na absorção desse último em função das doses de Mn. Para esses autores, o resultado é atribuído à competição iônica entre os dois elementos. Oliveira Jr et al. (1998), obtiveram com quatro doses de Mn, resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho.

As cultivares indicadas para solos parcialmente corrigidos (IAC 15-1 e DM Nobre), foram mais afetadas pelas doses de Mn com a aplicação de 0,1 mM de Mg. O inverso ocorreu nos tratamentos com 1,0 mM de Mg, nos quais as cultivares IAC 17 e FT Estrela foram mais afetadas, apresentando uma redução em torno de 36% no teor de Zn com a aplicação de Mg. Esse resultado se ajusta às afirmações de Loneragan & Webb (1993) e Malavolta et al. (1997), que por serem cátions bivalentes, existe uma competição dos nutrientes pelo mesmo sítio de absorção, de maneira que a carência de um aumenta a disponibilidade do outro.

Nas Tabelas 30, 31, 32, 33 e 34 estão as equações de regressão e os coeficientes de correlação entre os teores de N, P, Mg, Fe e Zn e o teor de Mn encontrado nos dois folíolos usados para fazer-se a diagnose foliar (os demais nutrientes analisados não apresentaram significância com relação a este parâmetro). Observa-se que as equações de regressão apresentaram, quando significativas, o mesmo comportamento das doses de Mn na solução (Tabelas 24, 25, 26, 27 e 29).

Os teores de N encontrados nas folhas foram diretamente proporcionais ao aumento do teor de Mn nas mesmas (Tabela 30). Segundo Adriano (1986), Bergmann (1992), Marschner (1995) e Malavolta et al. (1997), isso ocorreu porque o Mn atua como ativador enzimático na redutase do nitrito e de várias reações da biossíntese de proteínas.

Os teores de P, Mg, Fe e Zn diminuíram com o aumento das doses de Mn. Os teores de Mg e Zn apresentaram interações significativas ($p < 0,05$) com as concentrações de magnésio. Nas quatro cultivares, o teor de Mg acompanhou o aumento da dose de Mg.

Observando a Tabela 16, nota-se que, exceto a cultivar IAC 15-1, os teores de Fe e Zn diminuíram com o aumento da concentração de Mg na solução. Nas correlações realizadas entre os teores foliares de Fe e Mn, esse fato não foi observado (Tabela 33). Reddy et al. (1978), ao estudar o efeito do ferro e manganês na absorção de ⁶⁵Zn em mudas de soja, verificaram que o aumento na concentração de Mn na solução acarreta inibição na absorção de Zn, resultado que os dados do presente trabalho corroboram (Tabela 29 e 34).

Tabela 30. Equações de regressão e coeficiente de correlação entre os teores de N - Y (g kg^{-1}) e os teores de Mn - X (mg kg^{-1}) nas folhas diagnóstico.

Concentração	Equação	r	Cultivares
0,1 mM de Mg	$Y = 32,8814 - 0,0113X$	0,2665 ^{NS}	IAC 15-1
	$Y = 38,0521 + 0,0223X$	0,6482*	IAC 17
	$Y = 34,8222 + 0,1412X$	0,6875*	FT Estrela
	$Y = 37,1507 - 0,0592X$	0,3820 ^{NS}	DM Nobre
1,0 mM de Mg	$Y = 27,3989 + 0,4896X$	0,7121*	IAC 15-1
	$Y = 37,3838 + 0,4896X$	0,5144 ^{NS}	IAC 17
	$Y = 33,8138 + 0,3046X$	0,8756*	FT Estrela
	$Y = 25,8413 + 0,0195X$	0,2514 ^{NS}	DM Nobre

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 31. Equações de regressão e coeficiente de correlação entre os teores de P - Y (g kg^{-1}) e os teores de Mn - X (mg kg^{-1}) nas folhas diagnóstico.

Concentração	Equação	r	Cultivares
0,1 mM de Mg	$Y = 3,3840 - 0,0008X$	0,1803 ^{NS}	IAC 15-1
	$Y = 2,4180 - 0,0003X$	0,0583 ^{NS}	IAC 17
	$Y = 1,5509 - 0,0073X$	0,8149*	FT Estrela
	$Y = 1,8396 - 0,0053X$	0,2640 ^{NS}	DM Nobre
1,0 mM de Mg	$Y = 1,8442 - 0,0102X$	0,6437*	IAC 15-1
	$Y = 2,4430 - 0,0114X$	0,6911*	IAC 17
	$Y = 1,3689 - 0,0099X$	0,5649 ^{NS}	FT Estrela
	$Y = 1,6079 - 0,0037X$	0,5457 ^{NS}	DM Nobre

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 32. Equações de regressão e coeficiente de correlação entre os teores de Mg - Y (g kg^{-1}) e os teores de Mn - X (mg kg^{-1}) nas folhas diagnóstico.

Concentração	Equação	r	Cultivares
0,1 mM de Mg	$Y = 1,0357 + 0,0022X$	0,2926 ^{NS}	IAC 15-1
	$Y = 2,1711 - 0,0016X$	0,1615 ^{NS}	IAC 17
	$Y = 1,6688 - 0,0177X$	0,5541*	FT Estrela
	$Y = 1,9843 - 0,0162X$	0,4501 ^{NS}	DM Nobre
1,0 mM de Mg	$Y = 4,4911 - 0,0719X$	0,6806*	IAC 15-1
	$Y = 4,6078 + 0,0065X$	0,2575 ^{NS}	IAC 17
	$Y = 3,9272 - 0,0275X$	0,3887 ^{NS}	FT Estrela
	$Y = 5,5907 - 0,0266X$	0,7527*	DM Nobre

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 33. Equações de regressão e coeficiente de correlação entre os teores Fe - Y (g kg^{-1}) e os teores de Mn - X (mg kg^{-1}) nas folhas usadas para diagnose.

Concentração	Equação	r	Cultivares
0,1 mM de Mg	$Y = 94,3343 - 0,5327X$	0,7378*	IAC 15-1
	$Y = 91,6650 + 0,0079X$	0,0265 ^{NS}	IAC 17
	$Y = 77,1729 - 1,0830X$	0,6796*	FT Estrela
	$Y = 191,4185 - 2,4301X$	0,5481 ^{NS}	DM Nobre
1,0 mM de Mg	$Y = 119,6215 - 0,2762X$	0,1284 ^{NS}	IAC 15-1
	$Y = 74,3088 + 0,2157X$	0,4332 ^{NS}	IAC 17
	$Y = 78,7265 + 0,6704X$	0,0574 ^{NS}	FT Estrela
	$Y = 112,2297 - 0,2942X$	0,6302*	DM Nobre

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 34. Equações de regressão e coeficiente de correlação entre os teores Zn - Y (g kg^{-1}) e os teores de Mn - X (mg kg^{-1}) nas folhas diagnóstico.

Concentração	Equação	r	Cultivares
0,1 mM de Mg	$Y = 42,2310 - 0,2884X$	0,7893*	IAC 15-1
	$Y = 102,7338 + 0,3025X$	0,6570*	IAC 17
	$Y = 85,4338 - 0,5641X$	0,3635 ^{NS}	FT Estrela
	$Y = 124,4719 - 1,7236X$	0,6451*	DM Nobre
1,0 mM de Mg	$Y = 66,7278 - 0,8664X$	0,5633*	IAC 15-1
	$Y = 56,8314 - 0,1208X$	0,2402 ^{NS}	IAC 17
	$Y = 62,6071 - 0,8743X$	0,4648 ^{NS}	FT Estrela
	$Y = 69,0769 - 0,2719X$	0,6294*	DM Nobre

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

4.4 Magnésio, zinco e manganês contidos nas diversas partes da planta

4.4.1 Teor na folha, caule, pericarpo e raiz

4.4.1.1 Experimento com Mg e Zn

Com relação ao teor de magnésio nas diversas partes da planta (Tabela 35), observa-se que as quatro cultivares estudadas foram significativamente ($p < 0,05$) influenciadas pela concentração de Mg na solução. Nota-se que os teores de magnésio, nas folhas e no caule, apresentaram interação significativa ($p < 0,05$) com as doses de Zn (Tabelas 35 e 36).

De acordo com a Tabela 35, observa-se no pericarpo, um maior teor de Mg. Isto ocorre, segundo Bataglia & Mascarenhas (1986), porque após o estágio R4 (Fehr et al., 1971), a produção de matéria seca da parte reprodutiva cresce, enquanto que da parte vegetativa decresce. No caso do Mg, verifica-se que além da mobilidade

do nutriente, existe a queda das folhas durante a maturação, acarretando numa maior migração deste nutriente para as partes reprodutivas (flor, pericarpo e grãos). O teor de Mg encontrado nas folhas e nos ramos foi semelhante e superior aos encontrados nas raízes. Estas, independentemente da cultivar avaliada, apresentaram os menores teores, resultados que corroboram os obtidos por Bataglia & Mascarenhas (1986) e Komatuda (1988).

Tabela 35. Teor de Mg nas várias partes da planta de soja cultivadas sob diferentes concentrações de Mg e Zn em solução nutritiva¹. (média dos tratamentos e das três repetições)

Concentração		Média das doses de Zn ($\mu\text{M L}^{-1}$)			
Mg	Cultivares	g kg ⁻¹			
		Folha	Caule	Pericarpo	Raiz
0,1 mM	IAC 15-1	1,21 a	1,06 ab	2,62 a	0,33 a
	IAC 17	1,14 ab	0,79 c	2,10 c	0,37 a
	FT Estrela	1,15 a	1,09 a	2,35 b	0,38 a
	DM Nobre	0,99 b	0,95 b	1,51 d	0,22 b
	Média	1,12	0,97	2,15	0,33
1,0 mM	IAC 15-1	5,32 a	4,27 a	5,81 a	0,81 a
	IAC 17	5,40 a	2,97 d	5,80 a	0,49 c
	FT Estrela	4,69 b	3,79 c	5,78 a	0,60 b
	DM Nobre	4,07 c	3,96 b	5,82 a	0,43 c
	Média	4,87	3,75	5,80	0,58
	DMS	0,15	0,12	0,19	0,10
	CV (%)	4,638	8,976	7,721	19,72

¹ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Analisando as Tabelas 36 e 37, pode-se observar que de modo semelhante ao ocorrido nas folhas usadas para diagnose, o teor de magnésio nas folhas senescentes, nos

tratamentos que apresentaram significância ($p < 0,05$), diminuíram com o aumento das doses de zinco, enquanto que no caso do caule nas cultivares IAC 17 e DM Nobre na dose 0,1 mM de Mg e IAC 15-1 e IAC 17 na dose 1,0 mM de Mg, houve uma tendência de decréscimo no teor de Mg nas doses intermediárias e uma de aumento na última dose (5,0 μM de Zn). Estes resultados podem ser atribuídos, segundo Marschner (1995) ao efeito de concentração do nutriente na planta.

Os teores de Zn nas diversas partes da planta, em função das duas concentrações de magnésio dentro das quatro cultivares de soja, são apresentados nas Tabelas 38, 39 e 40. Nota-se que, à semelhança no teor de zinco no caule, pericarpo e raiz, contrasta com os dados obtidos por Bataglia & Mascarenhas (1986), que encontraram teores mais elevados desse nutriente nos órgão reprodutivos. O teor médio de Zn no caule nas duas concentrações de Mg (27,3 mg kg^{-1}) no estágio R7, está bem acima do encontrado por Bataglia & Mascarenhas (1986) que é 5,0 mg kg^{-1} . Com relação ao pericarpo, os mesmos autores encontraram teores, dependendo do grau de maturação, de 19,8 a 30,3 mg kg^{-1} , ficando estes teores na faixa dos encontrados no presente ensaio.

Tabela 36. Equações de regressão entre o teor de Mg nas folhas (g kg^{-1}) e as doses de Zn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,3982 - 0,0929X$	0,5697*
	IAC 17	$Y = 1,6704 - 0,2664X$	0,7889*
	FT Estrela	$Y = 1,3786 - 0,1143X$	0,5458*
	DM Nobre	$Y = 0,7779 - 0,0164X$	0,7129*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 5,7893 - 0,2321X$	0,7101*
	IAC 17	$Y = 5,7928 - 0,1964X$	0,9394*
	FT Estrela	$Y = 5,6293 - 0,9981X + 0,1456X^2$	0,8136*
	DM Nobre	$Y = 5,0607 - 0,4929X$	0,7389*

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 37. Equações de regressão entre o teor de Mg no caule (g kg^{-1}) e as doses de Zn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 4,5536 - 0,1393X$	0,4744*
	IAC 17	$Y = 3,3980 - 0,5274 X + 0,0842X^2$	0,7268*
	FT Estrela	$Y = 2,2500 + 0,0500X$	0,0543 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 0,7494 - 0,4540X + 0,0842X^2$	0,5248*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 0,9773 - 0,2887X + 0,0517X^2$	0,7889*
	IAC 17	$Y = 1,0472 - 0,0964X + 0,0311X^2$	0,7994*
	FT Estrela	$Y = 5,8125 - 0,0150X$	0,8571 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 4,3107 - 0,1778X$	0,4006*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Nas Tabelas 39 e 40 são apresentados os efeitos de doses de Zn na concentração deste nutriente na folha e no caule. Provavelmente, em decorrência do alto coeficiente de variação, o pericarpo e as raízes não apresentaram significância estatística. Analisando os dados, observa-se um efeito linear positivo do Zn fornecido sobre o absorvido, efeito esse bem pronunciado nessas duas partes da planta. O aumento da concentração de Zn nas amostras de folhas senescentes, que foram coletadas do início ao final do ciclo da cultura, concorda os resultados obtidos por Vitti (1982) com as cultivares IAC 2 e Santa Rosa, cultivadas nas mesmas condições.

Com o aumento da concentração de Mg, houve uma diminuição no teor de Zn tanto nas folhas quanto no caule. Tal resultado indica interação significativa entre Mg e Zn, visto que, segundo Malavolta (1980), Loneragan et al. (1982), Loué (1993) e Malavolta et al. (1997), o aumento na concentração de um inibe a absorção do outro.

Tabela 38. Teor de Zn nas várias partes da planta de soja cultivadas sob diferentes concentrações de Mg e Zn em solução nutritiva¹. (média dos tratamentos e das três repetições)

Concentração		Média das doses de Zn ($\mu\text{M L}^{-1}$)			
Mg	Cultivares	mg kg ⁻¹			
		Folha	Caule	Pericarpo	Raiz
0,1 mM L ⁻¹	IAC 15-1	65,2 b	35,5 b	31,0 a	26,3 b
	IAC 17	74,2 a	40,0 a	27,7 b	39,0 a
	FT Estrela	68,7 ab	30,5 c	22,5 c	23,8 ab
	DM Nobre	46,0 c	22,3 d	20,7 c	19,3 c
	Média	63,5	32,1	25,5	27,1
1,0 mM L ⁻¹	IAC 15-1	53,0 b	23,2 a	17,7 a	32,7 a
	IAC 17	64,0 a	24,0 a	16,5 a	18,3 c
	FT Estrela	54,7 b	21,8 a	12,2 b	27,3 b
	DM Nobre	41,0 c	21,0 a	10,7 b	20,2 c
	Média	53,2	22,5	14,3	24,6
	DMS	5,96	3,27	2,08	3,73
	CV (%)	9,477	11,129	13,729	13,387

¹ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4.4.1.2 Experimento com Mg e Mn

Nas Tabelas 41, 42, 43, 44 e 45 estão apresentados os resultados dos efeitos das doses de manganês sobre o teor de magnésio na matéria seca das folhas, do caule, do pericarpo e das raízes. Observa-se que a cultivar IAC 17 foi a mais afetada pelo aumento da dose de Mg na solução, visto que na dose 0,1 mM, em todos os parâmetros avaliados, foi a que provocou o maior teor, enquanto que na dose 1,0 mM apresentou o menor (Tabela 41).

Tabela 39. Equações de regressão entre o teor de Zn nas folhas (mg kg^{-1}) e as doses de Zn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 44,0238 + 10,5714X$	0,9589*
	IAC 17	$Y = 35,0714 + 19,5476X$	0,9215*
	FT Estrela	$Y = 36,1786 + 16,2857X$	0,9633*
	DM Nobre	$Y = 30,2857 + 7,8571X$	0,9603*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 37,7143 + 7,6429X$	0,8645*
	IAC 17	$Y = 36,5714 + 13,7143X$	0,8771*
	FT Estrela	$Y = 30,7500 + 12,0000X$	0,9967*
	DM Nobre	$Y = 26,7143 + 7,1429X$	0,8906*

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Nota-se que na dose 0,1 mM de Mg, a maior concentração de Mg foi encontrada no pericarpo, enquanto que na presença de Mg (1,0 mM) houve um maior acúmulo nas folhas. Esse resultado pode ser explicado por Malavolta (1980), Clark (1984) e Marschner (1995), que classificam o magnésio como elemento móvel, havendo principalmente na carência, uma translocação do nutriente dos tecidos mais velhos para os mais novos. O pericarpo poderia representar uma fonte da qual o Mg não sai com facilidade.

O teor de Mg nas folhas e no caule no tratamento com 1,0 mM de Mg, concorda com os obtidos por Bataglia & Mascarenhas (1986), enquanto que os teores encontrados no pericarpo ficaram bem abaixo do indicado pelos mesmos autores, situados ao redor de $9,4 \text{ g kg}^{-1}$. Komatuda (1988) encontrou um teor médio de $4,7 \text{ g kg}^{-1}$ nas raízes, valor maior que o determinado no presente ensaio.

Na análise de variância para os dados das Tabelas 42, 43, 44, 45 e 46, observou-se significância ($p < 0,05$) para a interação negativa entre as doses de Mg e Mn nas várias partes da planta. Por isso, efetuou-se o desdobramento das interações e foram

detectados efeitos significativos ($p < 0,05$), com exceção da cultivar IAC 17, entre o Mg e Mn sobre o teor de Mg nas folhas. Houve efeito significativo ($p < 0,05$) dos tratamentos somente na dose 1,0 mM de Mg.

Tabela 40. Equações de regressão entre o teor de Zn no caule (mg kg^{-1}) e as doses de Zn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 12,7857 + 11,3571X$	0,9420*
	IAC 17	$Y = 15,8571 + 12,0714X$	0,9248*
	FT Estrela	$Y = 16,6428 + 6,9286X$	0,9070*
	DM Nobre	$Y = 6,6786 + 7,7857X$	0,9401*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 14,8214 + 4,2142X$	0,8323*
	IAC 17	$Y = 12,7142 + 5,6429X$	0,9806*
	FT Estrela	$Y = 12,8928 + 4,4285X$	0,9850*
	DM Nobre	$Y = 10,7142 + 5,1429X$	0,9351*

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 41. Equações de regressão entre o teor de Mg nas folhas (g kg^{-1}) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 0,7429 + 0,0286X$	0,5714 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 1,1767 - 0,4298 + 0,1110X^2$	0,9919*
	FT Estrela	$Y = 0,8786 - 0,0393X$	0,2542 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 0,9554 - 0,0214X$	0,1039 ^{NS}
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 5,1376 + 1,0078X - 0,1559X^2$	0,8525*
	IAC 17	$Y = 5,8047 + 0,4239X - 0,0653X^2$	0,8674*
	FT Estrela	$Y = 6,2899 - 0,4179X$	0,8161*
	DM Nobre	$Y = 6,5410 - 0,2893X$	0,8571*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

No caule, apenas as cultivares IAC 17 e FT Estrela na dose 0,1 mM de Mg e IAC 15-1 e DM Nobre na dose 1,0 mM de Mg foram significativamente afetadas (Tabela 43) pelas concentrações de Mn. O teor de magnésio encontrado no caule no estágio R7 (maturação fisiológica) por Bataglia & Mascarenhas (1986) esteve na faixa de 2,2 a 3,2 g kg⁻¹.

Com relação ao efeito das doses Mg e Mn, a análise de variância mostrou significância ($p < 0,05$) para interação entre os dois nutrientes sobre o teor de magnésio no pericarpo e nas raízes (Tabelas 44 e 45). Tal resultado novamente confirma a mobilidade desse nutriente descrita por Malavolta (1980), Mengel & Kirkby (1987) e Huguet & Coppenet (1992). Apesar da mobilidade, observou-se que, com o aumento da concentração de manganês na solução na dose 0,1 mM de Mg ocorreu uma diminuição no teor de magnésio, resultado provavelmente acarretado pelo efeito de inibição descrito por Mass (1969). Existe, porém, outra hipótese para esse fato como descrito por Malavolta (1980) e Marschner (1995): efeitos de diluição nas cultivares IAC 15-1 e IAC 17 ou os de concentração nas cultivares FT Estrela e DM Nobre.

Com relação às raízes, exceto a cultivar DM Nobre, ao contrário que ocorreu com o pericarpo, houve efeito significativo ($p < 0,05$) das doses Mn somente no tratamento 1,0 mM de Mg (Tabela 45). O magnésio, por ser um elemento móvel no floema, e quando em baixas concentrações, pode migrar para as outras partes da planta acarretando, como pode ser visto no presente ensaio, num menor teor nas raízes. Esse fato pode ser interpretado como consequência da facilidade de redistribuição do magnésio na planta, das partes mais velhas para as partes mais novas e também das raízes para parte aérea, local este de maior demanda pelo nutriente.

Tabela 42. Teor de Mg nas diversas partes da planta de soja cultivadas sob diferentes concentrações de Mg e Mn em solução nutritiva¹. (média dos tratamentos e das três repetições)

Concentração		Média das doses de Mn ($\mu\text{M L}^{-1}$)			
Mg	Cultivares	g kg ⁻¹			
		Folha	Caule	Pericarpo	Raiz
0,1 mM	IAC 15-1	0,80 b	0,66 b	1,26 c	0,42 ab
	IAC 17	1,15 a	1,09 a	1,84 a	0,52 a
	FT Estrela	0,80 b	0,96 a	1,76 ab	0,42 ab
	DM Nobre	0,91 b	1,10 a	1,65 b	0,35 b
	Média	0,92	0,95	1,63	0,42
1,0 mM	IAC 15-1	5,98 a	3,43 b	6,30 a	1,11 c
	IAC 17	6,16 a	2,12 c	1,24 b	1,55 a
	FT Estrela	5,45 b	3,39 b	6,30 a	1,32 b
	DM Nobre	5,96 a	6,15 a	6,28 a	0,89 d
	Média	5,89	3,77	5,03	1,22
	DMS	0,21	0,16	0,18	0,15
	CV (%)	5,641	6,306	4,196	23,773

¹ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Nas Tabelas 46, 47, 48, 49 e 50 estão apresentados os efeitos ocasionados pelas interações significativas ($p < 0,05$) entre as doses de Mg e Mn nas quatro cultivares de soja. Verifica-se que com o aumento da concentração de Mg na solução, independentemente da parte da planta, ocorreu uma diminuição no teor de Mn. Devido a sua baixa mobilidade e redistribuição (Epstein, 1972; Malavolta, 1980 e Mengel & Kirkby, 1987), como pode ser visto nas duas concentrações de Mg (Tabela 38), o manganês ficou mais retido nas folhas e menos no caule; as raízes e o pericarpo

apresentaram no presente estudo, valores intermediários, resultado que corrobora os obtidos por Komatuda (1988), em experimento conduzido em solução nutritiva.

Tabela 43. Equações de regressão entre o teor de Mg no caule (g kg^{-1}) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 0,6411 + 0,0107X$	0,0283 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 1,2946 - 0,1036X$	0,7628*
	FT Estrela	$Y = 1,5895 - 0,7563X + 0,1181X^2$	0,9427*
	DM Nobre	$Y = 1,1429 - 0,0214X$	0,4286 ^{NS}
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 4,3913 - 1,3754X + 0,2390X^2$	0,7373*
	IAC 17	$Y = 2,2536 - 0,0643X$	0,3170 ^{NS}
	FT Estrela	$Y = 4,3589 - 0,4857X$	0,4704 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 5,7923 + 0,4151X - 0,0630X^2$	0,9165*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 44. Equações de regressão entre o teor de Mg no pericarpo (g kg^{-1}) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,5339 - 0,1357X$	0,8403*
	IAC 17	$Y = 2,0875 - 0,1250X$	0,7495*
	FT Estrela	$Y = 2,1478 - 0,5671X + 0,9986X^2$	0,9107*
	DM Nobre	$Y = 1,7420 - 0,1849X + 0,0370X^2$	0,6734*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 0,8054 + 0,1536X$	0,3426 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 1,8857 - 0,1679X$	0,4508 ^{NS}
	FT Estrela	$Y = 1,4179 - 0,0464X$	0,1356 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 0,8375 + 0,0250X$	0,2373 ^{NS}

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 45. Equações de regressão entre o teor de Mg nas raízes (g kg^{-1}) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 0,4750 - 0,0250X$	0,7000 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 0,5821 - 0,0286X$	0,4156 ^{NS}
	FT Estrela	$Y = 0,4821 - 0,0286X$	0,9143 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 0,3714 - 0,0107X$	0,1071 ^{NS}
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 0,9373 - 0,0735X + 0,0430X^2$	0,9643*
	IAC 17	$Y = 2,2862 - 0,8570X + 0,1303X^2$	0,9532*
	FT Estrela	$Y = 1,6003 - 0,3604X + 0,0594X^2$	0,5456*
	DM Nobre	$Y = 0,8375 + 0,0250X$	0,2373 ^{NS}

* significativo a 5% de probabilidade.; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 46. Equações de regressão entre o teor de Mn nas folhas (mg kg^{-1}) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 10,7500 + 11,0000X$	0,9676*
	IAC 17	$Y = 2,3571 + 14,0714X$	0,9827*
	FT Estrela	$Y = 9,2500 + 12,0000X$	0,9967*
	DM Nobre	$Y = 15,0000 + 11,0000X$	0,9496*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 9,3929 + 8,4285X$	0,9612*
	IAC 17	$Y = 1,0000 + 2,1667X$	0,9558*
	FT Estrela	$Y = 7,2500 + 5,0000X$	0,9492*
	DM Nobre	$Y = 18,2619 + 7,7857X$	0,9336*

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Observa-se na Tabela 46, que os dados se ajustaram a uma função linear, com coeficientes lineares variando na folha (parte que melhor reflete o estado nutricional), na dose 0,1 mM de Mg, de 11,0 mg kg⁻¹ nas cultivares recomendadas para solos parcialmente corrigidos até 14,0 mg kg⁻¹ nas indicadas para solos naturalmente férteis e na dose 1,0 mM variaram de 2,2 mg kg⁻¹ (IAC 17) até 8,4 mg kg⁻¹ (IAC 15). Tal resultado sugere que as cultivares indicadas para solos naturalmente férteis são mais sensíveis aos efeitos interiônicos existentes entre o magnésio e manganês.

Tabela 47. Teor de Mn nas diversas partes da planta de soja cultivadas sob diferentes concentrações de Mg e Mn em solução nutritiva¹. (média dos tratamentos e das três repetições)

Concentração		Média das doses de Mn ($\mu\text{M L}^{-1}$)			
Mg	Cultivares	mg kg ⁻¹			
		Folha	Caule	Pericarpo	Raiz
0,1 mM	IAC 15-1	32,8 b	12,8 a	19,6 b	17,8 c
	IAC 17	30,5 b	13,5 a	28,2 a	31,7 a
	FT Estrela	33,3 b	11,8 b	32,4 a	23,9 b
	DM Nobre	37,0 a	13,5 a	19,6 b	10,8 d
	Média	33,4	12,9	25,0	21,1
1,0 mM	IAC 15-1	23,3 b	7,0 b	9,2 b	12,3 b
	IAC 17	5,3 d	8,5 a	13,2 ab	19,0 a
	FT Estrela	17,3 c	6,3 b	19,2 a	14,7 b
	DM Nobre	33,8 a	5,8 b	11,4 ab	3,6 c
	Média	20,7	6,9	13,3	12,4
	DMS	3,56	1,73	7,96	2,57
	CV (%)	12,234	16,210	13,090	14,251

¹ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 48. Equações de regressão entre o teor de Mn no caule (mg kg^{-1}) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 6,4642 + 3,1429X$	0,9687*
	IAC 17	$Y = 7,5000 + 3,0000X$	0,9767*
	FT Estrela	$Y = 2,6071 + 4,5714X$	0,9859*
	DM Nobre	$Y = 2,6428 + 5,4286X$	0,9800*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 4,8571 + 1,0714X$	0,8929*
	IAC 17	$Y = 5,7857 + 1,3571X$	0,8892*
	FT Estrela	$Y = 3,8214 + 1,2143X$	0,9948*
	DM Nobre	$Y = 1,8928 + 1,9285X$	0,9511*

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 49. Equações de regressão entre o teor de Mn no pericarpo (mg kg^{-1}) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 9,5714 + 4,2143X$	0,6648*
	IAC 17	$Y = 7,8214 + 7,7143X$	0,9724*
	FT Estrela	$Y = 2,3571 + 12,0714X$	0,9860*
	DM Nobre	$Y = 3,7500 + 8,5000X$	0,9851*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 2,5714 + 3,2142X$	0,9907*
	IAC 17	$Y = 6,3929 + 2,4285X$	0,9518*
	FT Estrela	$Y = 5,1071 + 5,5714X$	0,9556*
	DM Nobre	$Y = 0,7500 + 4,6667X$	0,9896*

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 50. Equações de regressão entre o teor de Mn nas raízes (mg kg^{-1}) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 13,3214 + 2,2143X$	0,7913*
	IAC 17	$Y = 10,1786 + 10,7857X$	0,9421*
	FT Estrela	$Y = 16,4405 + 3,7381X$	0,9810*
	DM Nobre	$Y = 6,6071 + 2,0714X$	0,9573*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 2,8214 + 4,7143X$	0,9240*
	IAC 17	$Y = 13,0000 + 3,0000X$	0,6238*
	FT Estrela	$Y = 10,8929 + 1,9286X$	0,5738*
	DM Nobre	$Y = 1,6786 + 0,9524X$	0,8237*

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

4.5 Grãos

4.5.1 Experimento com Mg e Zn

Na Tabela 51 são apresentados os teores de óleo e de proteína e seus equivalentes em produtividade por planta para cada cultivar nas duas doses de Mg, independentemente das doses Zn.

Os resultados mostram que na dose 0,1 mM de Mg, as quatro cultivares tiveram comportamentos semelhantes, não diferindo estatisticamente entre si ($p > 0,05$). Na dose 1,0 mM de Mg, as cultivares indicadas para solos parcialmente corrigidos (IAC 15-1 e DM Nobre) apresentaram, em termos percentuais, os maiores teores de óleo e o menores de proteína, respectivamente, enquanto que as cultivares indicadas para solos naturalmente férteis apresentaram os menores teores de óleo e os maiores de proteína (Tabela 51).

Tais resultados são explicados pelos argumentos de Thorne & Fehr (1970) e Burton (1987), ao relatarem a existência de correlação negativa pronunciada entre os teores de óleo e o de proteína nos grãos, cujos valores aproximadamente encontrados são, respectivamente, de 20 e 40%. Segundo os mesmos autores, essa relação deve-se preferencialmente, a fatores genéticos e ambientais.

Em termos de produtividade de óleo (PO) e de proteína (PP), verificou-se que a cultivar FT Estrela foi a mais eficiente, apresentando os maiores valores, enquanto que a cultivar IAC 17 apresentou os menores. As cultivares IAC 15-1 e DM Nobre tiveram, no presente estudo, valores intermediários (Tabela 51).

Com relação a PO e a PP, estudos desenvolvidos por Zimback (1992), com progênies provenientes de 40 cruzamentos, detectou que o caráter PO e PP apresentam correlações positivas com a produtividade de grãos. Tais resultados são concordantes com os obtidos no presente ensaio. A cultivar FT Estrela foi que apresentou a maior produção de grãos (Figura 2).

Os menores valores de PO e PP na cultivar IAC 17 são semelhantes aos encontrados em Weber & Moorthy (1952), em estudos com três populações de soja, onde constataram a presença de correlações genóticas e fenotípicas negativas entre a porcentagem de óleo e o número de dias para maturação (NDF) e correlações positivas entre a PO e o NDF. Esse indicativo é confirmado no presente estudo; segundo o INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (1997), a cultivar IAC 17 é classificada como sendo de ciclo ~~super~~ precoce.

A ausência de interação significativa ($p > 0,05$) entre as doses de magnésio e de zinco, afetando o teor e a produtividade de óleo (Figura 5 e Tabela 52) mostram que o aumento na concentração de Mg não afetou esses dois parâmetros. Tais resultados contradizem uma expectativa inicial. Segundo Mengel & Kirkby (1987) e Malavolta et al. (1997), o magnésio é ativador de quase todas as enzimas fosforilativas, e na sua presença ocorre a formação de pontes entre o ATP (trifosfato de adenosina) ou ADP (difosfato de adenosina) com moléculas enzimáticas, sendo essa transferência de energia essencial na reação de síntese de lípideos (triglicerídeos e ácidos graxos).

Nas duas concentrações de Mg, houve uma relação inversa entre o teor e a produtividade de óleo com o aumento das doses de Zn. A diminuição no teor de óleo ocorreu, possivelmente em virtude do efeito de diluição, enquanto que o incremento da PO se deve ao aumento da produção de grãos. Tanaka et al. (1995), ao estudarem o efeito da calagem e da adubação potássica sobre a concentração e produtividade de óleo e de proteína na soja, também observaram que esses dois fatores estão inversamente relacionados.

Tabela 51. Teor de óleo e de proteína e produtividade de óleo (PO) e de proteína (PP) dos grãos de soja cultivadas sob diferentes concentrações de Mg e Zn em solução nutritiva¹. (média dos tratamentos e das três repetições)

Concentração		Média das doses de Zn ($\mu\text{M L}^{-1}$)			
Mg	Cultivares	%		g/planta	
		Óleo	Proteína	PO	PP
0,1 mM	IAC 15-1	18,16 ab	24,90 b	0,92 b	1,49 ab
	IAC 17	17,14 c	31,20 a	0,74 b	1,30 b
	FT Estrela	17,79 bc	32,13 a	0,92 b	1,64 ab
	DM Nobre	18,82 a	24,95 a	1,18 a	1,84 a
	Média	17,98	28,30	0,94	1,57
1,0 mM	IAC 15-1	19,89 a	24,91 b	1,92 a	2,38 b
	IAC 17	17,55 b	30,21 bc	1,24 b	2,06 b
	FT Estrela	18,22 b	32,13 a	1,88 a	3,19 a
	DM Nobre	19,95 a	24,95 a	1,83 a	2,23 b
	Média	18,90	28,05	1,72	2,22
	DMS	0,87	2,16	0,26	0,40
	CV (%)	8,387	6,800	17,840	18,314

¹ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A avaliação da composição dos grãos nos diferentes tratamentos revelou que o teor de óleo ficou bem abaixo dos 24% encontrados por Farias et al. (1998), em cinco cultivares e também dos obtidos por Vello (1999), em estudo de melhoramento genético em função da qualidade e produtividade de óleo, que encontrou um teor médio de 21%. No presente estudo, o teor médio foi de 19%.

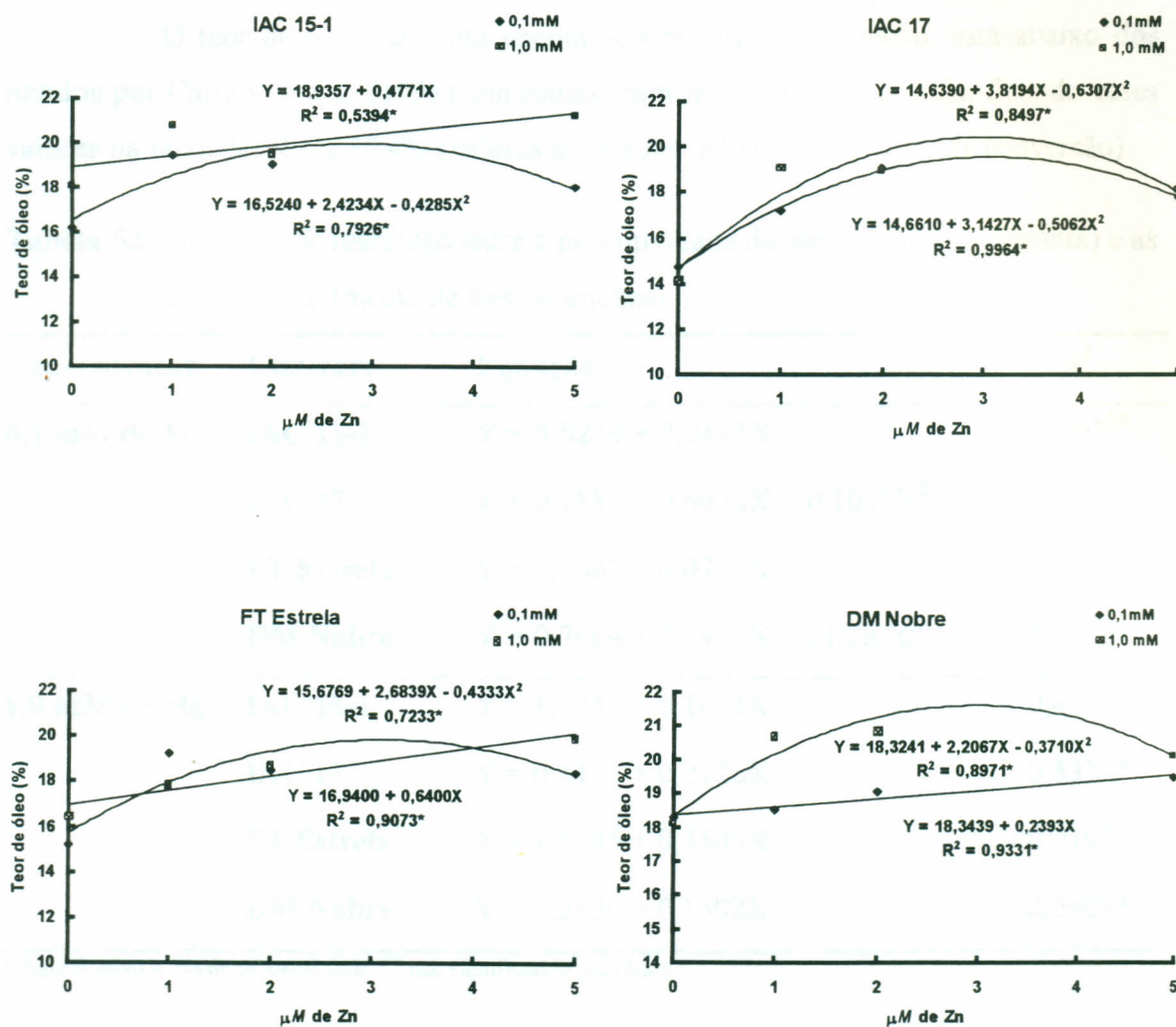


Figura 5. Efeito das doses de Zn sobre o teor de óleo nos grãos - média de três repetições. (* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F)

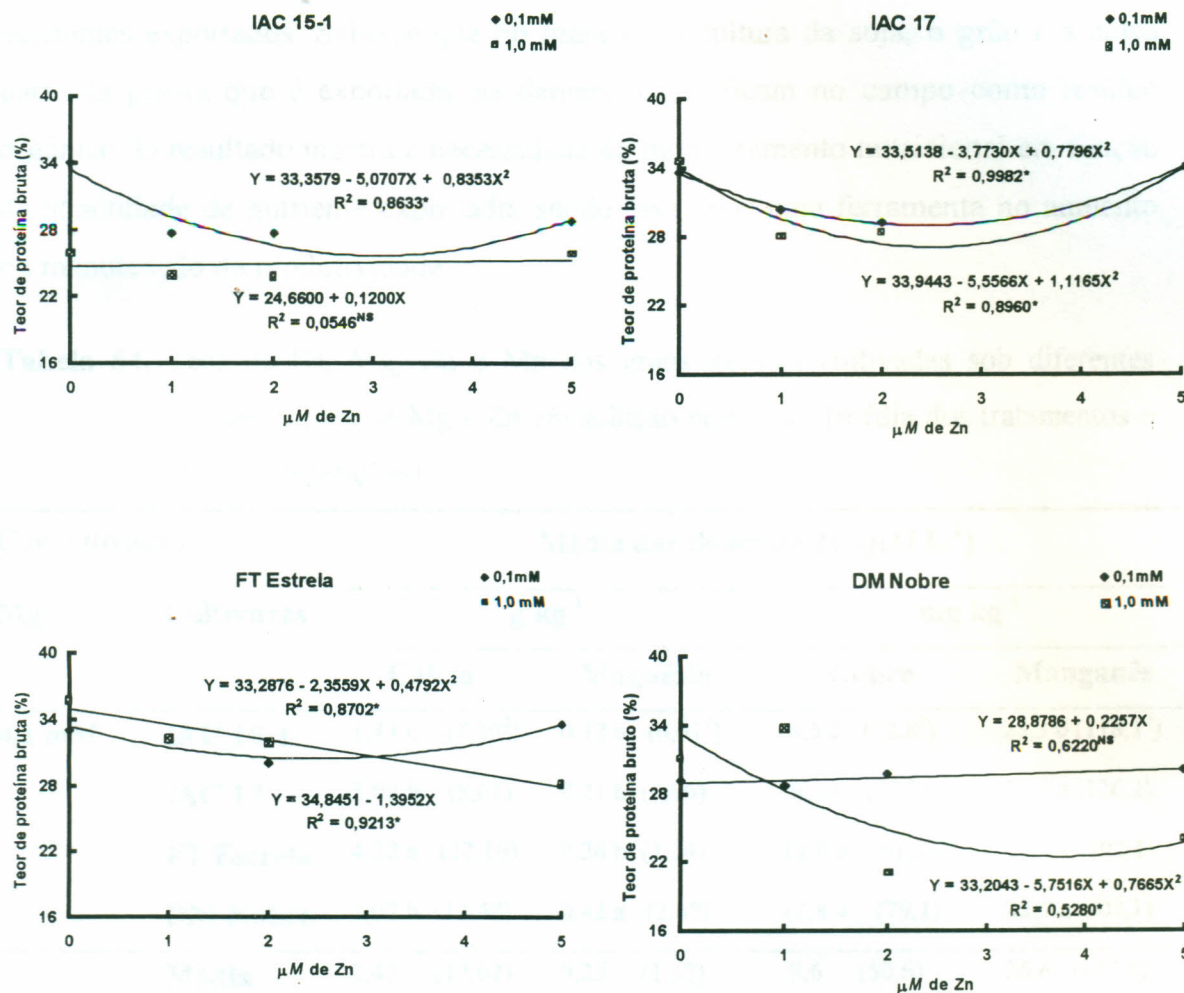


Figura 6. Efeito das doses de Zn Regressão sobre o teor de proteína nos grãos - média de três repetições. (* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F)

Os teores de P, K, S e Fe mostrados na Tabela 56, não apresentaram interação significativa ($p > 0,05$) entre as duas concentrações de Mg, as quatro doses de Zn e as quatro cultivares de soja utilizadas.

O conteúdo dos nutrientes (valor entre parênteses) presente nos grãos, obtidos da média das quatro doses de Zn (Tabelas 54 e 55), acompanha de forma semelhante, a produção. Diante desses resultados, pode sugerir que o aumento na

produção de grãos proporcionou um incremento significativo no conteúdo dos nutrientes exportados. Sabe-se que no manejo da cultura da soja, o grão é a única parte da planta que é exportada, as demais partes ficam no campo como resíduo orgânico. O resultado mostra a necessidade do monitoramento nutricional em função da quantidade de nutriente exportado, sendo esse mais uma ferramenta no aumento ou manutenção da produtividade.

Tabela 54. Teor de Ca, Mg, Cu e Mn nos grãos de soja cultivadas sob diferentes concentrações de Mg e Zn em solução nutritiva¹. (média dos tratamentos e das três repetições)

Concentração		Média das doses de Zn ($\mu\text{M L}^{-1}$)			
Mg	Cultivares	g kg^{-1}		mg kg^{-1}	
		Cálcio	Magnésio	Cobre	Manganês
0,1 mM	IAC 15-1	1,44 c (7,30 ²)	0,12 b (0,61 ²)	4,5 c (22,8 ³)	23,3 b (118,1 ³)
	IAC 17	2,08 b (8,61)	0,21 b (0,86)	9,1 b (37,7)	30,5 a (126,2)
	FT Estrela	4,32 a (22,16)	0,26 b (1,34)	12,0 a (61,6)	20,0 b (102,1)
	DM Nobre	2,02 b (12,48)	0,42 a (2,60)	12,8 a (79,1)	32,7 a (202,1)
	Média	2,45 (12,62)	0,25 (1,37)	9,6 (50,6)	26,6 (137,1)
1,0 mM	IAC 15-1	0,70 c (6,71)	0,90 c (8,62)	8,2 b (78,6)	12,7 a (121,7)
	IAC 17	1,96 a (13,27)	0,71 d (4,80)	12,7 a (86,0)	13,6 ab (87,3)
	FT Estrela	1,77 a (17,89)	2,14 a (21,63)	12,7 a (128,5)	15,9 ab (160,7)
	DM Nobre	1,07 b (9,54)	1,93 b (17,74)	14,4 a (130,2)	17,2 a (156,4)
	Média	1,38 (11,98)	1,42 (13,05)	12,0 (105,7)	14,8 (132,6)
	DMS	0,26	0,15	2,01	3,66
	CV (%)	12,606	14,339	17,275	16,373

¹ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

² Quantidade de nutrientes, em mg/vaso, exportados nos grãos de soja.

³ Quantidade de nutrientes, em $\mu\text{g}/\text{vaso}$, exportados nos grãos de soja.

Os teores de K, Cu, Fe e Zn ficaram na faixa dos comumentes encontrados na literatura, porém, os teores de P e de S ficaram sempre aquém dos níveis considerados adequados por Bataglia & Mascarenhas (1986). As possíveis hipóteses nas causas do baixo teor de P em função das concentrações de Zn são bem reportados por Lópes Gorostiaga (1972), Adriano (1986) e Loué (1993).

Tabela 55. Teor de Ni e Zn nos grãos de soja cultivadas sob diferentes concentrações de Mg e Zn em solução nutritiva¹. (média dos tratamentos e das três repetições)

Concentração		Média das doses de Zn ($\mu\text{M L}^{-1}$)	
Mg	Cultivares	mg kg^{-1}	
		Níquel	Zinco
0,1 mM	IAC 15-1	1,6 c (8,1)	38,5 a (195,1)
	IAC 17	1,9 b (7,9)	41,0 a (169,7)
	FT Estrela	1,5 c (7,7)	42,7 a (219,0)
	DM Nobre	2,1 a (12,4)	43,0 a (265,7)
	Média	1,8 (9,2)	41,3 (210,9)
1,0 mM	IAC 15-1	2,8 a (26,8)	35,2 b (337,2)
	IAC 17	1,8 b (12,2)	37,5 b (253,9)
	FT Estrela	2,1 c (21,2)	44,5 a (449,9)
	DM Nobre	2,2 b (19,9)	35,7 b (132,5)
	Média	2,2 (19,6)	38,2 (292,8)
	DMS	0,12	4,56
	CV (%)	5,771	10,628

¹ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

² Quantidade de nutrientes, em $\mu\text{g}/\text{vaso}$, exportados nos grãos de soja.

No caso do S, em decorrência da solução nutritiva usada no presente ensaio, apresentar grande quantidade de N na forma de nitrato, pode ter acarretado num possível efeito de inibição entre o sulfato e o nitrato. Malavolta et al. (1997) citam que o nitrato

apresenta uma maior velocidade de absorção que o sulfato, sendo que em grandes quantidades, o primeiro pode inibir a absorção do segundo. Talvez seja essa, aliada a baixa mobilidade do S, a provável resposta para os baixos teores de S encontrados nos grãos.

Observa-se na Tabela 54, que com o aumento da concentração de Mg houve uma diminuição significativa nos teores de Ca e Mn devido a um possível efeito de inibição entre esses nutrientes (Crark, 1984 e Clarkson, 1988).

Tabela 56. Teores de P, K, S e Fe nos grãos de soja cultivadas em solução nutritiva sob diferentes concentrações de Mg e Zn. (média dos tratamentos e das três repetições)

Concentração		Média das doses de Zn ($\mu\text{M L}^{-1}$)			
Mg	Cultivares	g kg^{-1}			mg kg^{-1}
		Fósforo	Potássio	Enxofre	Ferro
0,1 mM	IAC 15-1	1,57 (7,98 ¹)	15,70 (79,76 ¹)	1,09 (5,52 ¹)	130,5 (661,6 ²)
	IAC 17	1,18 (4,88)	14,11 (58,37)	1,01 (4,18)	131,5 (544,4)
	FT Estrela	0,93 (4,77)	15,00 (79,95)	0,93 (4,77)	140,0 (718,2)
	DM Nobre	0,87 (5,38)	14,52 (86,61)	0,98 (6,06)	146,3 (904,1)
	Média	1,14 (5,75)	14,83 (76,17)	1,00 (5,13)	137,1 (707,1)
1,0 mM	IAC 15-1	1,28 (6,71)	14,41 (137,95)	1,05 (10,06)	139,6 (1337,4)
	IAC 17	1,05 (7,11)	14,20 (96,13)	1,02 (6,91)	141,0 (954,6)
	FT Estrela	1,00 (10,11)	14,87 (150,33)	0,91 (9,20)	147,4 (1490,2)
	DM Nobre	0,93 (8,45)	15,00 (136,35)	1,06 (9,63)	138,5 (1258,9)
	Média	1,07 (8,10)	14,62 (130,19)	1,01 (8,95)	141,6 (1260,3)
CV (%)		10,699	9,492	9,864	17,640

¹ Quantidade de nutriente, em mg/vaso, exportados nos grãos de soja.

² Quantidade de nutrientes, em μg /vaso, exportados nos grãos de soja.

O efeito das doses de zinco sobre os teores de Ca, Mg, Ni e Zn presentes nos grãos, dentro de cada cultivar, mostra interações significativas (Tabelas 57, 58 e 59 e

Figura 7). Verifica-se novamente uma grande variabilidade entre as cultivares na absorção dos nutrientes, exceto o teor de Zn, que em todas as cultivares apresentou efeito linear positivo. Os demais nutrientes, quando significativos, apresentaram comportamentos distintos, mostrando, em alguns casos, efeito linear e em outros casos efeito quadrático positivo ou negativo.

Com relação ao teor de Mg, nota-se que no tratamento com 0,1 mM de Mg a cultivar FT Estrela foi a única a apresentar significância. Boaro et al. (1997), ao avaliar a influência dos níveis de Mg sobre a produção do feijoeiro, sugerem que essa concentração de Mg seja suficiente para um bom desenvolvimento da planta, porém, segundo Castro (1999) pode ser insuficiente para completar todo o ciclo (estádio R7). Com o aumento das doses de Zn na dose 1,0 mM de Mg, as cultivares apresentaram diferenciação na absorção dos nutrientes (Tabela 57).

Tabela 57. Equações de regressão entre o teor de Ca nos grãos (g kg^{-1}) e as doses de Zn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,0146 + 0,5009X - 0,0772X^2$	0,4304*
	IAC 17	$Y = 1,9492 + 0,4227X - 0,0949X^2$	0,9292*
	FT Estrela	$Y = 3,6639 + 0,3286X$	0,7797*
	DM Nobre	$Y = 2,8321 - 0,4036X$	0,6904*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 0,4429 + 0,1286X$	0,7121*
	IAC 17	$Y = 2,4174 - 0,8526X + 0,1667X^2$	0,8050
	FT Estrela	$Y = 1,2750 + 0,2500X$	0,8861*
	DM Nobre	$Y = 0,6013 + 0,6232X - 0,1030X^2$	0,9315*

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 58. Equações de regressão entre o teor de Mg nos grãos (g kg^{-1}) e as doses de Zn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 0,1139 + 0,0043X$	0,0602 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 0,1911 + 0,0107X$	0,0952 ^{NS}
	FT Estrela	$Y = 0,0982 + 0,0821X$	0,9751*
	DM Nobre	$Y = 1,3503 + 0,1226X - 0,0237X^2$	0,9999*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,0000 - 0,0499X$	0,9999*
	IAC 17	$Y = 0,3911 + 0,1607X$	0,6863*
	FT Estrela	$Y = 1,3981 + 0,8975X - 0,1407X^2$	0,6811*
	DM Nobre	$Y = 2,2047 - 0,5178X + 0,1013X^2$	0,9992*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 59. Equações de regressão entre o teor de Ni nos grãos (mg kg^{-1}) e as doses de Zn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,5955 - 0,3675X + 0,0997X^2$	0,8697*
	IAC 17	$Y = 2,4750 - 0,2500X$	0,4788*
	FT Estrela	$Y = 1,1594 + 0,3527X - 0,0441X^2$	0,6830*
	DM Nobre	$Y = 2,6125 + 0,0850X$	0,2754 ^{NS}
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,9218 - 0,0779X$	0,3359 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 1,4535 + 0,5069X - 0,0946X^2$	0,4640*
	FT Estrela	$Y = 1,1594 + 0,3527X - 0,0441X^2$	0,6830*
	DM Nobre	$Y = 2,4559 - 0,1071X$	0,7278*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Na Tabela 60 estão as equações de regressão e os coeficientes de correlação entre o teor de Zn nos grãos com a suas produções. Verifica-se que mesmo quando não significativo, existe a presença de uma correlação positiva. As cultivares IAC 17 e FT Estrela, que são indicadas para solos naturalmente férteis, apresentaram nas duas concentrações de magnésio, correlações significativas ($p < 0,05$), enquanto que as *cultivares IAC 15-1 e DM Nobre não apresentaram significância.*

Tabela 60. Correlações entre o teor de Zn (mg kg^{-1}) e a produção de grãos (g/vaso).

Concentração	Cultivares	Equação	r
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 4,3062 + 0,0200X$	0,4768 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 0,5142 + 0,0885X$	0,7732*
	FT Estrela	$Y = 3,0509 + 0,0485X$	0,7745*
	DM Nobre	$Y = 7,2440 - 0,0224X$	0,1175 ^{NS}
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 7,4246 + 0,0611X$	0,4147 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 0,6777 + 0,1623X$	0,7289*
	FT Estrela	$Y = 2,3854 + 0,1735X$	0,7834*
	DM Nobre	$Y = 5,4240 + 0,1025X$	0,6244 ^{NS}

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

4.5.2 Experimento com Mg e Mn

Os resultados mostram diferenças varietais sobre o teor de óleo e de proteína em função das duas concentrações de magnésio e manganês (Tabela 61). Na dose 1,0 mM de Mg a cultivar IAC 17 apresentou o menor teor de óleo e o maior de proteína, enquanto que na dose 0,1 mM de Mg, observam-se diferenças não significativas ($p > 0,05$) somente no teor de óleo. As maiores produtividades de óleo e de proteína foram obtidas nas cultivares DM Nobre e FT Estrela, respectivamente.

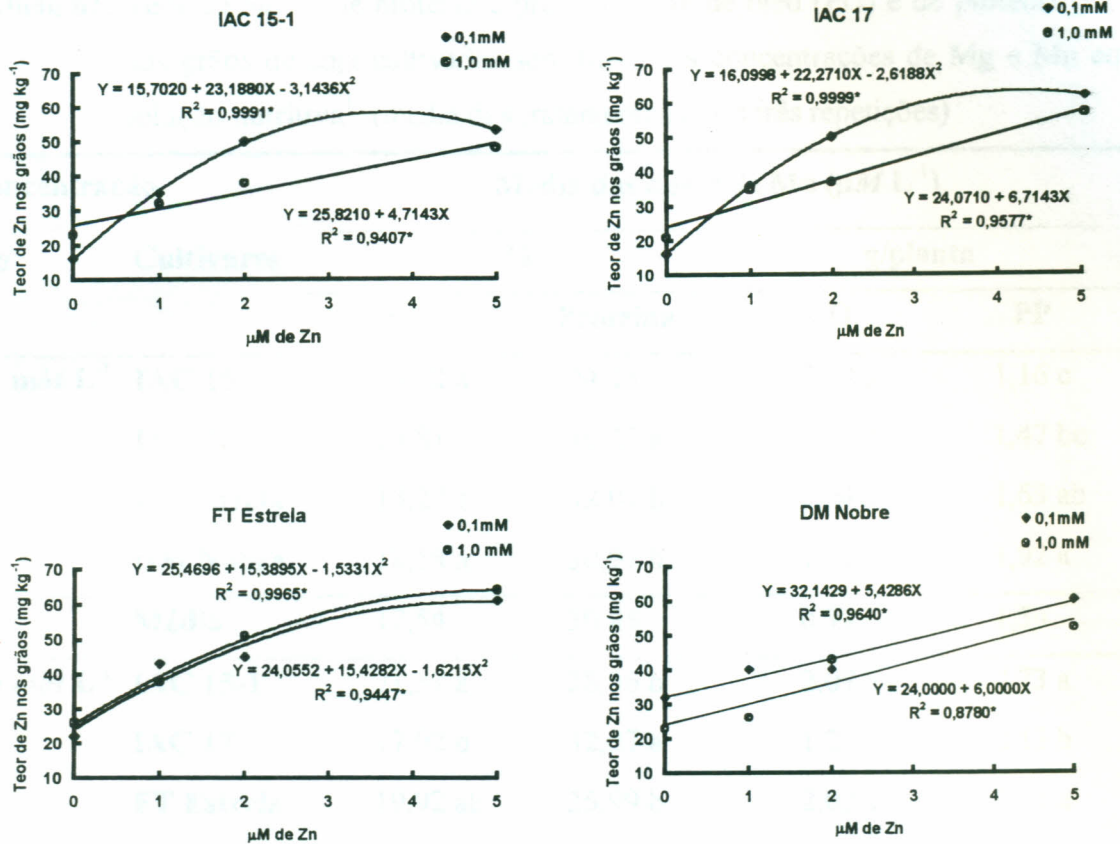


Figura 7. Efeito das doses de Zn sobre teor de Zn nos grãos (mg kg^{-1}) - média de três repetições. (* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F)

Quando se compara o efeito do Mn dentro de cada dose de Mg (Figura 8 e 9 e Tabelas 62 e 63), observa-se um efeito linear positivo no teor de óleo nas cultivares IAC 17 e DM Nobre no tratamento com 1,0 mM de Mg. Nas demais cultivares, o aumento na concentração de Mn provocou redução no teor de óleo e aumento no de proteína. Exceto a cultivar IAC 15-1, na dose 0,1 mM, a aplicação de Mn aumentou significativamente a PO e a PP. Na cultivar FT Estrela, a presença de manganês na solução não afetou significativamente esses dois parâmetros.

Tabela 61. Teor de óleo e de proteína e produtividade de óleo (PO) e de proteína (PP) nos grãos de soja cultivadas sob diferentes concentrações de Mg e Mn em solução nutritiva¹. (média dos tratamentos e das três repetições)

Concentração		Média das doses de Mn ($\mu\text{M L}^{-1}$)			
Mg	Cultivares	%		g/planta	
		Óleo	Proteína	PO	PP
0,1 mM L ⁻¹	IAC 15-1	16,52 a	24,15 c	0,79 b	1,16 c
	IAC 17	16,81 a	36,20 a	0,71 b	1,47 bc
	FT Estrela	18,27 a	32,07 b	0,94 ab	1,63 ab
	DM Nobre	18,58 a	30,97 b	1,18 a	1,92 a
	Média	17,54	30,85	0,91	1,54
1,0 mM L ⁻¹	IAC 15-1	21,57 a	28,36 b	2,07 a	2,73 a
	IAC 17	17,92 b	32,27 a	1,23 b	2,13 b
	FT Estrela	19,92 ab	26,99 b	2,02 a	2,71 a
	DM Nobre	20,52 ab	29,36 ab	1,89 a	2,67 a
	Média	19,98	29,25	1,80	2,56
	DMS	2,68	3,68	0,29	0,41
	CV (%)	13,243	11,355	20,298	18,637

¹ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Segundo Tanaka & Mascarenhas (1992), existe uma correlação positiva entre produtividade de grãos e teor de óleo com doses de Mn e uma relação negativa com o teor de proteína. Com o aumento no teor de manganês, do nível deficiente até suficiente, há um aumento na concentração de óleo nos grãos de 22 para 26% e uma queda no teor de proteína de 48 para 38%. Esses teores estão acima dos encontrados no presente trabalho (Figura 8 e 9 e Tabelas 62 e 63).

dos nutrientes nos grãos. Os teores de P, K, S e Fe não apresentaram significância em função dos tratamentos (Tabela 66).

As doses de magnésio e manganês afetaram significativamente ($p < 0,05$) o teor de cálcio nos grãos (Tabelas 64 e 67). Observa-se que exceto na cultivar DM Nobre, a presença do Mg na solução nutritiva fez com que diminuísse significativamente o efeito do Mn sobre o teor de Ca. É importante ressaltar que os três elementos são cátions bivalentes (Kabata Pendias & Pendias, 1984), e que a presença de um pode inibir a absorção do outro. A média dos teores de Ca ficaram abaixo dos obtidos por Bataglia et al. (1977), com nove cultivares de soja.

Conforme Malavolta (1980), o movimento ascendente do Ca na planta se dá preferencialmente através de reações de troca em vasos condutores do que por fluxo de massa: nesse processo, o Ca^{2+} é deslocado dos sítios de troca por outros cátions como o Mg e Mn; no excesso de algum desses dois elementos, esse processo pode ser severamente afetado.

Tabela 62. Equações de regressão entre a produtividade de óleo (g/planta) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,0512 + 0,1281X$	0,7623*
	IAC 17	$Y = 0,2162 + 0,5766X - 0,0884X^2$	0,9897*
	FT Estrela	$Y = 33,4727 - 0,7026X$	0,7906 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 0,7570 + 0,6672X - 0,1218X^2$	0,5468*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 28,7930 - 0,2174X$	0,0235 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 0,7598 + 0,2376X$	0,5332*
	FT Estrela	$Y = 1,4032 + 0,3088X$	0,9166*
	DM Nobre	$Y = 1,4219 + 0,2385X$	0,8300*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

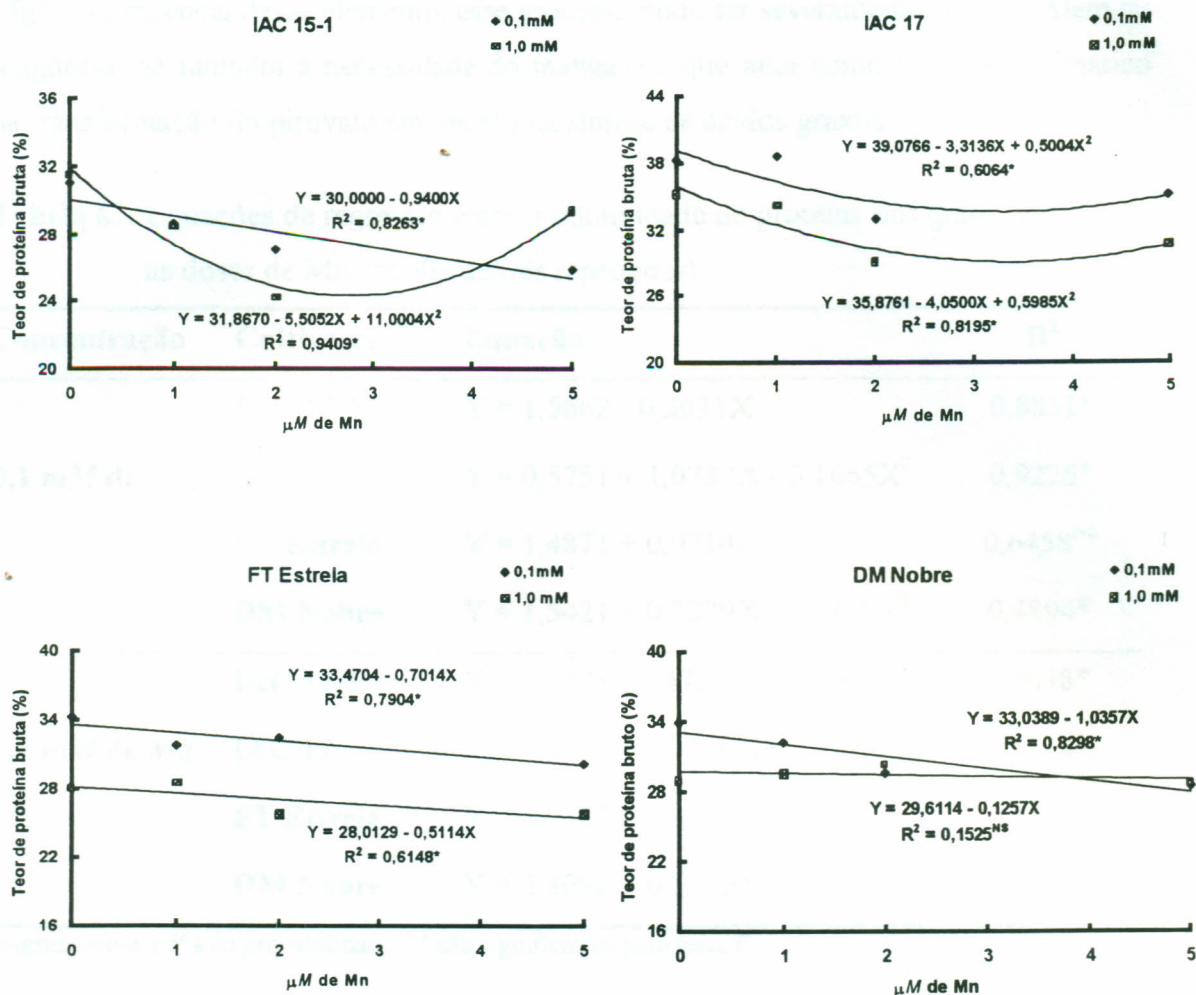


Figura 9. Teor de proteína nos grãos em função das doses de Mn- média de três repetições. (* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F)

Exceto na cultivar DM Nobre na dose 0,1 mM de Mg, o aumento das doses de Mn diminuiu significativamente ($p < 0,05$) a concentração de Mg nos grãos (Tabela 66). Esse resultado indica, novamente, a presença de interação negativa descrita por Nazrul-Islam (1985), entre os cátions magnésio e manganês.

Além do efeito de inibição, essa diminuição no teor de Mg nos grãos pode ser explicada por Lehninger et al. (1995). Segundo esses autores, na regulação da síntese dos ácidos graxos, a acetil-CoA carboxilase é ativada pelas variações na concentração de

Mg^{2+} . Na carência desse elemento, esse processo pode ser severamente afetado. Além do magnésio, há também a necessidade do manganês, que atua como ativador enzimático na transformação do piruvato em malato na síntese de ácidos graxos.

Tabela 63. Equações de regressão entre produtividade de proteína nos grãos (g/planta) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,5662 - 0,2031X$	0,8831*
	IAC 17	$Y = 0,5751 + 1,0737X - 0,1665X^2$	0,9226*
	FT Estrela	$Y = 1,4871 + 0,0714x$	0,6458 ^{NS}
	DM Nobre	$Y = 1,5421 + 0,7229X - 0,1419X^2$	0,4894*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 2,9005 - 0,4729X + 0,1029X^2$	0,5038*
	IAC 17	$Y = 1,4967 + 0,3150XX$	0,5324*
	FT Estrela	$Y = 2,0317 + 0,3395X$	0,5324*
	DM Nobre	$Y = 2,3092 + 0,1829X$	0,7836*

*significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

O teores de Cu e Fe nos grãos (Tabelas 64, 69 e 70), indicam que esses nutrientes foram afetados pelo aumento da concentração de magnésio e manganês na solução. As cultivares de origem IAC apresentaram menor eficiência em absorver esses nutrientes do que as outras duas cultivares. O conteúdo (valor entre parênteses), exceto o Cu na dose 1,0 mM de Mg na cultivar IAC 15-1, apresentou a mesma tendência observada no teor (Tabela 64).

Os teores desses dois nutrientes estão abaixo e no nível, respectivamente, dos encontrados por Bataglia et al. (1977), em plantas cultivadas em condições de campo, que variam de 15,4 a 20,3 mg kg⁻¹ para o cobre e de 94,0 a 147,0 mg kg⁻¹ para o ferro. A cultivar DM Nobre apresentou reduções nos teores com o aumento da concentração de Mg na solução. O inverso ocorreu com as demais cultivares. A presença de magnésio aumentou a concentração desses nutrientes no grãos (Tabela 64).

Tabela 64. Teor de Ca, Mg e Cu nos grãos de soja cultivadas sob diferentes concentrações de Mg e Mn em solução nutritiva¹. (média dos tratamentos e das três repetições)

Concentração		Média das doses de Mn ($\mu\text{M L}^{-1}$)		
Mg	Cultivares	g kg^{-1}		mg kg^{-1}
		Cálcio	Magnésio	Cobre
0,1 mM L ⁻¹	IAC 15-1	2,11 a (5,64 ²)	1,20 b (4,95 ²)	9,3 c (38,8 ³)
	IAC 17	1,99 a (4,88)	1,45 a (3,55)	11,6 b (26,9)
	FT Estrela	1,92 a (7,20)	1,51 a (5,66)	12,3 b (46,1)
	DM Nobre	1,86 a (6,56)	1,37 ab (6,49)	15,4 a (54,1)
	Média	1,97 (6,12)	1,38 (5,19)	12,2 (42,3)
1,0 mM L ⁻¹	IAC 15-1	1,20 bc (10,21)	2,03 a (17,47)	11,6 b (100,3)
	IAC 17	1,39 b (5,98)	1,84 ab (7,37)	12,5 ab (53,0)
	FT Estrela	2,55 a (14,18)	1,85 ab (10,28)	11,2 b (62,2)
	DM Nobre	0,92 b (4,93)	1,65 b (8,84)	14,3 a (76,7)
	Média	1,52 (8,81)	1,84 (11,16)	12,4 (73,3)
	DMS	0,33	0,19	1,96
	CV (%)	17,445	11,141	14,820

¹ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

² Quantidade de nutriente, em mg/vaso, exportados nos grãos de soja.

³ Quantidade de nutriente, em μg /vaso, exportados nos grãos de soja.

A análise de variância mostrou interação negativa e significativa ($p < 0,05$) para o teor de manganês nos grãos em função das doses de Mg e Mn. Nota-se que exceto a cultivar DM Nobre (Figura 4), as demais se ajustaram a uma função linear positiva. No geral, o teor do nutriente nas quatro cultivares aumentou até a dose máxima de manganês aplicada, alcançando na concentração 0,1 mM de Mg os valores de 31,76, 35,50, 37,79 e 29,91 mg kg^{-1} e na concentração 1,0 mM obteve os valores de 14,98, 18,93, 25,78 e 17,96 mg kg^{-1} para as cultivares IAC 15-1, IAC 17, FT Estrela e DM Nobre, respectivamente. Observa-se que houve uma redução média de 43% no teor de Mn com o aumento da concentração de Mg na solução.

Na Tabela 65 e na Figura 10, verifica-se que a cultivar IAC 15-1 foi menos eficiente que as demais ao transportar o manganês da solução para os grãos. Exceto a cultivar IAC 15-1, na média das doses de Mn dentro das duas concentrações de Mg, as demais ficaram na faixa considerada adequada por Bataglia et al. (1977), que é de 27 a 40 mg kg⁻¹. Bataglia & Mascarenhas (1986), estudando a absorção de nutrientes pela soja (cultivar Santa Rosa), em estádios sucessivos de crescimento, em condições de campo, encontraram um teor médio de 33 mg kg⁻¹ de manganês.

Tabela 65. Teor de Mn, Ni e Zn nos grãos de soja cultivadas sob diferentes concentrações de Mg e Mn em solução nutritiva¹. (média dos tratamentos e das três repetições)

Concentração		Média das doses de Mn ($\mu\text{M L}^{-1}$)		
Mg	Cultivares	mg kg ⁻¹		
		Manganês	Níquel	Zinco
0,1 mM L ⁻¹	IAC 15-1	10,8 b (44,6 ²)	1,3 b (5,4 ²)	48,2 c (199,0 ²)
	IAC 17	20,5 a (50,2)	1,7 a (4,1)	61,7 b (148,2)
	FT Estrela	20,0 a (75,0)	1,8 a (6,7)	75,5 a (283,1)
	DM Nobre	17,1 a (57,2)	1,2 b (4,2)	67,3 b (237,6)
	Média	17,1 (57,2)	1,5 (5,0)	63,2 (217,9)
1,0 mM L ⁻¹	IAC 15-1	7,2 b (67,5)	2,3 a (19,9)	52,3 b (452,3)
	IAC 17	11,0 a (46,6)	1,7 b (7,2)	52,5 b (222,6)
	FT Estrela	12,6 a (70,0)	2,2 a (12,2)	62,1 a (345,2)
	DM Nobre	10,9 a (58,4)	1,5 b (8,0)	49,5 b (265,3)
	Média	10,6 (59,7)	1,9 (11,7)	54,1 (321,6)
	DMS	4,45	0,30	7,43
	CV (%)	9,388	16,330	11,751

¹ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

² Quantidade de nutrientes, em $\mu\text{g}/\text{vaso}$, exportados nos grãos de soja.

Tabela 66. Teores de P, K, S e Fe nos grãos de soja cultivadas em solução nutritiva sob diferentes concentrações de Mg e Mn. (média dos tratamentos e das três repetições)

Concentração		Média das doses de Mn ($\mu\text{M L}^{-1}$)			
Mg	Cultivares	g kg^{-1}			mg kg^{-1}
		Fósforo	Potássio	Enxofre	Ferro
0,1 mM	IAC 15-1	0,93 (3,84 ¹)	18,8 (77,60 ¹)	1,03 (4,25 ¹)	100,3 (414,2 ²)
	IAC 17	1,01 (2,47)	17,2 (42,14)	1,06 (2,60)	123,7 (302,9)
	FT Estrela	1,06 (3,97)	17,1 (64,12)	1,11 (4,16)	127,2 (476,9)
	DM Nobre	1,06 (3,74)	16,2 (57,19)	1,07 (3,78)	142,0 (501,3)
	Média	1,02 (3,58)	17,3 (60,25)	1,07 (3,70)	123,3 (423,4)
1,0 mM	IAC 15-1	0,82 (7,09)	16,8 (145,3)	1,09 (9,42)	117,2 (1013,8)
	IAC 17	1,01 (4,28)	18,7 (79,29)	1,06 (4,49)	129,0 (546,5)
	FT Estrela	1,09 (6,06)	15,7 (87,29)	1,17 (6,51)	133,9 (744,5)
	DM Nobre	1,09 (5,79)	15,2 (81,47)	1,12 (6,00)	127,7 (684,4)
	Média	1,00 (5,97)	16,6 (98,34)	1,11 (6,61)	126,9 (748,8)
	CV (%)	12,448	15,779	12,083	17,911

¹ Quantidade de nutrientes, em mg/vaso, exportados nos grãos de soja.

² Quantidade de nutrientes, em μg /vaso, exportados nos grãos de soja.

Na Tabela 70 são apresentadas as equações e os coeficientes de correlação entre o teor de Mn nos grãos e produção. Observa-se que exceto a cultivar IAC 15-1, as demais tiveram coeficientes significativos, apresentando a mesma tendência da curva nas duas concentrações de Mg. Verifica-se que as cultivares indicadas para solos naturalmente férteis (IAC 17 e FT Estrela) alcançaram os mais altos coeficientes de correlação do que as indicadas para solos parcialmente corrigidos (IAC 15-1 e DM Nobre).

Tabela 67. Equações de regressão entre o teor de Ca nos grãos (g kg^{-1}) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 3,1220 - 0,5048X$	0,9243*
	IAC 17	$Y = 2,6303 - 0,3214X$	0,5702*
	FT Estrela	$Y = 2,1142 - 0,0988X$	0,5354*
	DM Nobre	$Y = 1,4911 + 0,1857X$	0,5354*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,2909 - 0,3831X + 0,0900X^2$	0,5648*
	IAC 17	$Y = 1,0732 + 0,1571X$	0,8394*
	FT Estrela	$Y = 2,3386 + 0,1036X$	0,7827*
	DM Nobre	$Y = 1,2080 - 0,6004X + 0,1224X^2$	0,8307*

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 68. Equações de regressão entre o teor de Mg nos grãos (g kg^{-1}) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 1,6042 - 0,2000X$	0,7565*
	IAC 17	$Y = 1,6453 - 0,2488X + 0,0403X^2$	0,6657*
	FT Estrela	$Y = 1,8704 - 0,4416X + 0,0700X^2$	0,7570*
	DM Nobre	$Y = 1,3893 - 0,0071X$	0,0952 ^{NS}
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 2,0648 - 0,0179X$	0,4373*
	IAC 17	$Y = 1,9732 - 0,0678X$	0,7874*
	FT Estrela	$Y = 2,0008 - 0,1811X + 0,0282X^2$	0,9998*
	DM Nobre	$Y = 1,7571 - 0,0535X$	0,4727*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 69. Equações de regressão entre o teor de Cu nos grãos (mg kg^{-1}) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 12,4762 - 1,5714X$	0,7338*
	IAC 17	$Y = 13,8563 - 3,4466X - 0,6160X^2$	0,9803*
	FT Estrela	$Y = 13,7619 - 0,7143X$	0,4945*
	DM Nobre	$Y = 17,0833 - 0,8333X$	0,8861*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 11,2024 + 0,1905X$	0,4252 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 14,3959 - 2,2681X + 0,4622X^2$	0,5416*
	FT Estrela	$Y = 7,9286 + 1,6190X$	0,8362*
	DM Nobre	$Y = 15,4033 - 1,9576X + 0,3793X^2$	0,5118*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste de F.

Tabela 70. Correlações entre o teor de Mn (mg kg^{-1}) e a produção de grãos (g/vaso).

Concentração	Cultivares	Equação	r
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 5,8770 + 0,0158X$	0,2433 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 0,4851 + 0,0956X$	0,7168*
	FT Estrela	$Y = 0,3422 + 0,3998X - 0,0073X^2$	0,9504*
	DM Nobre	$Y = 2,3116 + 0,0711X$	0,6995*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	$Y = 8,0339 + 0,0788X$	0,3628 ^{NS}
	IAC 17	$Y = 0,2951 + 0,4435X$	0,8997*
	FT Estrela	$Y = 0,0281 + 0,8181X - 0,0203X^2$	0,9474*
	DM Nobre	$Y = 3,1984 + 0,1981X$	0,7360*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F

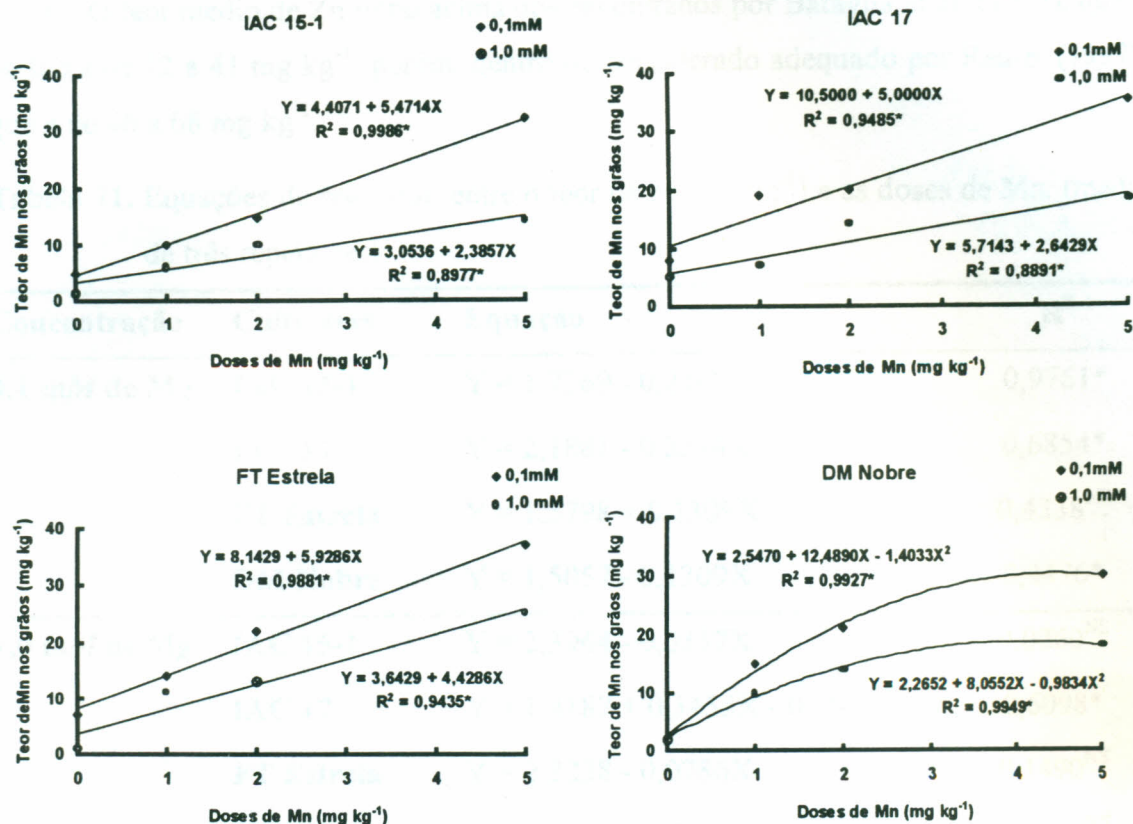


Figura 10. Efeito das doses de Mn sobre o teor de Mn nos grãos (mg kg^{-1}) - média de três repetições. (* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F)

O efeito das doses de Mn e Mg sobre os teores de Ni e Zn nos grãos é apresentado nas Tabelas 71 e 72. Verifica-se que o teor de níquel quando foi significativo, diminuiu com o aumento das doses de Mn, nas duas concentrações de Mg. Resultado que demonstra a presença de interação negativa entre esses dois cátions. A ausência desse elemento na solução nutritiva, o teor encontrado ficou cerca de 62% abaixo do teor dos grãos que foram utilizados para instalação do experimento (Tabela 1).

Com relação ao teor de zinco, observa-se a presença de coeficientes de determinação altamente significativos ($p < 0,05$). Nota-se que as cultivares de origem IAC, na dose de 0,1 mM de Mg foram afetadas negativamente pelas doses de Mn, o inverso ocorreu na dose 1,0 mM. A cultivar DM Nobre nas duas concentrações de Mg e a cultivar FT Estrela na dose 1,0 mM, apresentaram efeito sinérgico em função das doses

de Mn. O teor médio de Zn ficou acima dos encontrados por Bataglia et al. (1977), que é na faixa de 32 a 41 mg kg⁻¹, porém, dentro do considerado adequado por Reuter (1997), que é de 46 a 68 mg kg⁻¹.

Tabela 71. Equações de regressão entre o teor de Ni (mg kg⁻¹) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	Y = 1,7369 - 0,2142X	0,9761*
	IAC 17	Y = 2,1881 - 0,2524X	0,6854*
	FT Estrela	Y = 1,5798 + 0,1309X	0,4338 ^{NS}
	DM Nobre	Y = 1,5057 - 0,1309X	0,4476*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	Y = 2,3964 - 0,0357X	0,0260 ^{NS}
	IAC 17	Y = 1,4187 + 0,3455X - 0,0613X ²	0,6098*
	FT Estrela	Y = 2,3238 - 0,0786X	0,1490 ^{NS}
	DM Nobre	Y = 1,0488 + 0,2047X	0,3916 ^{NS}

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 72. Equações de regressão entre o teor de Zn (mg kg⁻¹) e as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	Y = 64,8333 - 8,3333X	0,8166*
	IAC 17	Y = 63,9523 - 1,1429X	0,8067*
	FT Estrela	Y = 76,9285 - 0,7142X	0,0952 ^{NS}
	DM Nobre	Y = 58,8095 + 4,2619X	0,9640*
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	Y = 48,0476 + 2,1428X	0,6515*
	IAC 17	Y = 54,6740 - 8,2762X + 1,9171X ²	0,8902*
	FT Estrela	Y = 55,5119 + 3,2857X	0,8992*
	DM Nobre	Y = 48,9285 + 0,2857X	0,9351*

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

4.6 Estimativa do Teor de Clorofila (Unidade SPAD)

4.6.1 Experimento com Mg e Zn

O teste de Tukey (5%), aplicado para as médias, comparando as unidades SPAD obtidas na folha usadas para diagnose em todos os tratamentos dentro de cada cultivar, é apresentado na Tabela 73. Nota-se que na ausência de Zn, a unidade SPAD foi, exceto na cultivar FT Estrela na dose 0,1 mM de Mg, sempre maior, independentemente da quantidade de Mg aplicada. Tal resultado contradiz uma hipótese inicial, pois esperava-se um aumento significativo no teor de clorofila com o aumento da dose de Mg, visto que, segundo Malavolta (1980), Hopkins (1995) e Marschner (1995), as moléculas de clorofila são porfirinas magnesianas e o Mg corresponde a 2,7% do peso molecular das mesmas, representando cerca de 10% do teor de Mg na folha. É possível que a falta de Zn tenha limitado a produção de clorofila, mascarando o possível efeito do Mg.

Almeida (1998), trabalhando com as braquiárias *decumbens* e *brizantha*, constatou que o teor de clorofila obtido indiretamente pela unidade SPAD, aumentou linearmente com o fornecimento de Mg nas plantas cultivadas em solução. Na média dos tratamentos dentro de cada dose de Mg, observa-se que o maior valor de unidade SPAD e teor de clorofila obtidos na dose 0,1 mM de Mg, nas cultivares acompanharam na seguinte seqüência: FT Estrela (34,28 - 310,68) > IAC 15-1 (31,89 - 288,15) > DM Nobre (30,77 - 359,36) > IAC 17 (31,89 - 288,13) e na dose 1,0 mM de Mg foi: FT Estrela (37,36 - 338,08) > DM Nobre (32,27 - 292,93) > IAC 15-1 (32,14 - 285,11) > IAC 17 (30,32 - 275,67).

Na Tabela 74 estão as equações de regressão entre as doses de Zn com os valores de unidade SPAD e o teor de clorofila. Observa-se que, exceto na cultivar FT Estrela na dose 0,1 mM de Mg que não apresentou significância ($p > 0,05$), nas demais, apesar da ausência de interação entre Mg e Zn, os teores de clorofila foram significativamente afetados ($p < 0,05$) pelas doses de zinco. Esse resultado, no geral, acompanha inversamente a produção de matéria seca total. A cultivar FT Estrela na dose 1,0 mM de Mg foi a única a apresentar efeito linear positivo em relação às doses de Zn.

Tabela 73. Unidade SPAD das folhas usadas para diagnose foliar no experimento com zinco¹. (media de três repetições)

Concentração		Doses de Zn (μM)			
Mg	Cultivares	0	1	2	5
0,1 Mm	IAC 15-1	35,23 a (319,14 ²)	32,93 ab (293,11)	29,23 a (265,96)	30,17 a (274,29)
	IAC 17	33,63 a (304,99)	30,37 b (276,04)	29,43 a (267,76)	29,93 a (272,19)
	FT Estrela	34,73 a (314,74)	36,10 a (326,86)	31,97 a (290,22)	34,30 a (310,90)
	DM Nobre	34,69 a (314,36)	31,90 ab (289,63)	27,07 a (246,82)	29,40 a (267,47)
	Média	33,75 (306,07)	33,64 (303,65)	29,42 (267,69)	30,95 (281,21)
1,0 mM	IAC 15-1	37,73 ab (314,71)	34,37 ab (311,52)	30,10 b (273,67)	26,36 b (240,52)
	IAC 17	32,33 b (293,47)	30,23 b (274,85)	27,53 b (250,92)	31,20 b (283,42)
	FT Estrela	36,03 ab (326,26)	35,90 a (325,08)	37,50 a (339,26)	40,03 a (361,72)
	DM Nobre	38,13 a (344,85)	30,53 b (277,48)	31,53 b (286,35)	28,90 b (263,03)
	Média	36,06 (319,82)	32,76 (297,23)	31,67 (287,55)	31,62 (287,17)
	DMS	5,08			
	CV (%)	7,286			

¹ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

² Teor de clorofila em $\mu mol m^{-2}$, estimada pela equação de Yadava (1986).

4.6.2 Experimento com Mg e Mn

Os resultados da análise de variância do valor de unidade SPAD e do teor estimado de clorofila apresentaram significância ($p < 0,05$) em relação às doses de Mn. Não houve efeito significativo em função das duas concentrações de Mg (Tabelas 75 e 76).

Observa-se que ao contrário do que ocorreu com o Zn, as doses de Mn aumentaram significativamente o teor de clorofila estimado. Conforme Heckman (1995), o uso do clorofilômetro como estimador do teor de clorofila, pode auxiliar na diagnose de manganês, visto que na sua deficiência, a fotossíntese é prejudicada e o conteúdo de clorofila na folha é reduzido. A cultivar que apresentou os maiores teores de clorofila estimados pela unidade SPAD, nas duas concentrações de Mg, foi a FT Estrela, com

valores de 268,5 e 264,14 $\mu\text{mol m}^{-2}$ nas concentrações 0,1 e 1,0 mM de Mg, respectivamente (Tabela 76).

Tabela 74. Equações de regressão e coeficiente de determinação entre a unidade SPAD e o teor de clorofila ($\mu\text{mol m}^{-2}$) com as doses de Zn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares		Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	SPAD	$Y = 33,4798 - 0,8745X$	0,5038*
		Clorofila	$Y = 303,6309 - 7,7521X$	
	IAC 17	SPAD	$Y = 33,4543 - 3,1316X + 0,4865X^2$	0,9713*
		Clorofila	$Y = 303,4196 - 27,7684X + 4,3150X^2$	
	FT Estrela	SPAD	$Y = 35,509 - 1,6802X + 0,2819X^2$	0,2893 ^{NS}
		Clorofila	$Y = 311,7537 - 14,9338X + 2,5059X^2$	
	DM Nobre	SPAD	$Y = 35,1717 - 5,3022X + 0,8264X^2$	0,9276*
		Clorofila	$Y = 318,6290 - 46,9956X + 7,3243X^2$	
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	SPAD	$Y = 34,9257 - 1,7679X$	0,9309*
		Clorofila	$Y = 316,4437 - 15,6698X$	
	IAC 17	SPAD	$Y = 32,5848 - 3,6682X + 0,6765X^2$	0,9480*
		Clorofila	$Y = 295,7266 - 32,5136X + 5,9954X^2$	
	FT Estrela	SPAD	$Y = 35,6333 + 0,8667X$	0,9510*
		Clorofila	$Y = 322,7182 + 7,6821X$	
	DM Nobre	SPAD	$Y = 35,1425 - 1,4350X$	0,5851*
		Clorofila	$Y = 318,3675 - 12,7199X$	

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

4.7 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica da solução nutritiva é um parâmetro importante a ser monitorado, pois está relacionado com a concentração dos nutrientes na solução e subsidia a decisão da renovação da solução ou reposição dos nutrientes (Resh, 1986). A média dos valores da condutividade elétrica (CE) e do seu equivalente em potencial osmótico (ψ_o) que foram determinados durante toda a condução dos experimentos (Mg e Zn e Mg e Mn), é apresentada na Tabela 77.

Tabela 75. Unidade SPAD das folhas usadas para diagnose foliar no experimento com manganês¹. (média de três repetições)

Concentração		Doses de Mn (μM)			
Mg	Cultivares	0	1	2	5
0,1 mM	IAC 15-1	25,27 a (230,83 ²)	27,43 a (250,03)	31,77 a (288,45)	25,37 b (231,71)
	IAC 17	19,27 b (177,64)	30,43 a (270,63)	29,23 a (265,99)	31,57 a (286,67)
	FT Estrela	24,87 ab (227,28)	30,67 a (278,69)	30,77 a (279,58)	31,77 a (288,45)
	DM Nobre	21,80 ab (200,10)	25,97 a (237,03)	31,37 a (284,90)	25,13 b (229,65)
	Média	22,80 (208,96)	28,63 (259,09)	30,79 (279,73)	28,46 (259,12)
1,0 mM	IAC 15-1	20,30 a (186,80)	25,80 b (235,56)	28,33 a (258,01)	29,83 ab (271,31)
	IAC 17	21,67 a (198,92)	29,60 ab (269,24)	29,77 a (270,72)	29,27 ab (266,28)
	FT Estrela	20,77 a (190,94)	31,47 a (285,78)	30,23 a (274,85)	33,63 a (304,99)
	DM Nobre	22,80 a (208,96)	27,87 ab (253,87)	31,63 a (287,26)	27,10 b (247,08)
	Média	21,38 (196,40)	28,69 (261,11)	29,99 (272,71)	29,96 (272,41)
	DMS	4,93			
	CV (%)	11,835			

¹ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

² Teor de clorofila em $\mu\text{mol m}^{-2}$, estimada pela equação de Yadava (1986).

Os valores de CE ou do ψ_0 das soluções, independentemente dos tratamentos, indicam a sua variação em função da composição inicial de cada solução e da absorção das plantas à medida que estas se desenvolveram. Segundo Maia (1998), as soluções que contêm valores maiores de CE, não necessariamente, apresentam uma maior concentração de nutrientes. Por esse motivo, apesar de um acompanhamento, optou-se por não trocar as soluções em função de um limite da condutividade, num intervalo de tempo de quinze dias.

De acordo com Carmello (1997), a solução nutritiva deve ser trocada quando esta atingir valores de CE menores que $1,0 \text{ mS cm}^{-1}$, que corresponde a um ψ_0 de $-0,36 \text{ MPa}$. O mesmo autor salienta (Carmello, 1992), que dependendo do equipamento usado para medida, o valor adequado de CE de uma solução nutritiva esteja na faixa de $2 \text{ a } 3 \text{ mS cm}^{-1}$ ($-0,72 \text{ a } -1,08 \text{ MPa}$), valores esses, bem acima dos

encontrados no presente trabalho. Observa-se que a CE, independentemente dos tratamentos (Mg e Zn e Mg e Mn), as cultivares indicadas para solos parcialmente corrigidos (IAC 15-1 e DM Nobre), apresentaram uma maior absorção de sais do que as cultivares indicadas para solos naturalmente férteis (IAC 17 e FT Estrela). Conforme Marschner (1995), as plantas diferem significativamente quanto à tolerância à salinidade da solução, e dependendo da espécie de plantas, da cultivar ou de fatores ambientais.

Tabela 76. Equações de regressão e coeficiente de determinação entre a unidade SPAD e o teor de clorofila ($\mu\text{mol m}^{-2}$) com as doses de Mn. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares		Equação	R ²
0,1 mM de Mg	IAC 15-1	SPAD	$Y = 24,7313 + 5,0203X - 0,9749X^2$	0,8948*
		Clorofila	$Y = 226,0678 + 44,5129X - 8,6451X^2$	
	IAC 17	SPAD	$Y = 20,5752 + 7,5882X - 1,0865X^2$	0,8203*
		Clorofila	$Y = 189,4143 + 67,4605X - 9,6804X^2$	
	FT Estrela	SPAD	$Y = 27,3914 + 1,0643X$	0,5363*
		Clorofila	$Y = 249,0421 + 9,4357X$	
	DM Nobre	SPAD	$Y = 25,2361 + 0,4157X$	0,0512 ^{NS}
		Clorofila	$Y = 230,5314 + 3,6943X$	
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	SPAD	$Y = 22,7664 + 1,6493X$	0,7238*
		Clorofila	$Y = 208,6671 + 14,6264X$	
	IAC 17	SPAD	$Y = 24,4532 + 1,0926219X$	0,4385*
		Clorofila	$Y = 232,4671 + 9,4114X$	
	FT Estrela	SPAD	$Y = 25,0421 + 1,9914X$	0,5737*
		Clorofila	$Y = 228,8100 + 17,6821X$	
	DM Nobre	SPAD	$Y = 26,2314 + 0,5593X$	0,1113 ^{NS}
		Clorofila	$Y = 239,3750 + 4,9600X$	

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 77. Condutividade elétrica (mS m^{-1}) da solução nutritiva no primeiro e décimo quinto dia (valor médio de todos intervalos de troca da solução e das três repetições)¹

Zinco								
Primeiro dia								
Cultivares	0,1 mmolar de Mg				1,0 mmolar de Mg			
	Zn (μmolar)				Zn (μmolar)			
	0,0	1,0	2,0	5,0	0,0	1,0	2,0	5,0
IAC 15-1	1,04 (-0,375 ²)	1,06 (-0,382)	1,10 (-0,396)	1,12 (-0,403)	1,23 (-0,443)	1,25 (-0,450)	1,25 (-0,450)	1,28 (-0,461)
IAC 17	1,06 (-0,382)	1,03 (-0,372)	1,16 (-0,418)	1,03 (-0,370)	1,33 (-0,478)	1,30 (-0,468)	1,31 (-0,472)	1,24 (-0,446)
FT Estrela	1,10 (-0,396)	1,19 (-0,428)	1,11 (-0,400)	1,07 (-0,326)	1,29 (-0,465)	1,25 (-0,450)	1,31 (-0,471)	1,23 (-0,443)
DM Nobre	1,03 (-0,370)	1,16 (-0,417)	1,03 (-0,370)	1,16 (-0,418)	1,17 (-0,421)	1,20 (-0,436)	1,12 (-0,403)	1,19 (-0,429)
Décimo quinto dia								
	0,0	1,0	2,0	5,0	0,0	1,0	2,0	5,0
IAC 15-1	0,56 b (-0,201)	1,04 b (-0,375)	0,41 b (-0,148)	0,63 b (-0,227)	0,71 a (-0,255)	0,60 b (-0,216)	0,55 a (-0,198)	0,52 a (-0,187)
IAC 17	1,06 a (-0,382)	1,46 a (-0,526)	1,63 a (-0,587)	0,99 a (-0,357)	1,00 a (-0,360)	1,09 a (-0,392)	0,67 a (-0,241)	0,60 a (-0,216)
FT Estrela	1,04 a (-0,375)	1,08 b (-0,388)	0,49 b (-0,177)	0,54 b (-0,194)	1,04 a (-0,375)	0,58 b (-0,208)	0,63 a (-0,227)	0,58 a (-0,209)
DM Nobre	0,63 b (-0,226)	0,95 b (-0,342)	0,39 b (-0,141)	0,36 b (-0,130)	1,00 a (-0,359)	0,40 b (-0,144)	0,58 a (-0,209)	0,45 a (-0,161)
CV (%) = 20,608	DMS = 0,35							
Manganês								
Primeiro dia								
Cultivares	Mn (μmolar)				Mn (μmolar)			
	0,0	1,0	2,0	5,0	0,0	1,0	2,0	5,0
IAC 15-1	1,12 (-0,403)	1,06 (-0,382)	1,05 (-0,378)	1,08 (-0,388)	1,31 (-0,470)	1,25 (-0,451)	1,26 (-0,454)	1,29 (-0,465)
IAC 17	1,11 (-0,382)	1,12 (-0,403)	1,16 (-0,417)	1,12 (-0,403)	1,33 (-0,477)	1,34 (-0,482)	1,29 (-0,464)	1,27 (-0,457)
FT Estrela	1,08 (-0,389)	1,12 (-0,403)	1,35 (-0,485)	1,10 (-0,397)	1,31 (-0,470)	1,30 (-0,467)	1,37 (-0,493)	1,28 (-0,462)
DM Nobre	1,05 (-0,377)	1,11 (-0,400)	1,04 (-0,373)	1,14 (-0,470)	1,33 (-0,477)	1,30 (-0,464)	1,29 (-0,466)	1,25 (-0,450)
Décimo Quinto dia								
	0,0	1,0	2,0	5,0	0,0	1,0	2,0	5,0
IAC 15-1	0,84 ab (-0,300)	0,65 b (-0,233)	0,58 ab (-0,209)	0,50 ab (-0,180)	0,91 a (-0,329)	0,56 a (-0,200)	0,62 a (-0,224)	0,59 a (-0,213)
IAC 17	1,12 a (-0,402)	1,13 a (-0,404)	0,87 a (-0,313)	0,97 a (-0,350)	1,11 a (-0,400)	0,89 a (-0,319)	0,84 a (-0,303)	0,61 a (-0,221)
FT Estrela	0,76 ab (-0,272)	0,83 ab (-0,297)	0,67 ab (-0,297)	0,54 ab (-0,196)	0,78 a (-0,283)	0,59 a (-0,210)	0,66 a (-0,238)	0,62 a (-0,223)
DM Nobre	0,49 b (-0,177)	0,55 b (-0,199)	0,36 b (-0,129)	0,36 b (-0,130)	0,81 a (-0,292)	0,58 a (-0,209)	0,56 a (-0,203)	0,44 a (-0,160)
CV (%) = 26,480	DMS = 0,47							

¹ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. ² Potencial osmótico da solução nutritiva em MPa (Marschner, 1995).

4.8 Cinética de absorção, Km e Vmax

4.8.1 Determinação de Km e Vmax no experimento de Mg e Zn

Os resultados obtidos em cpm (contagens por minuto) nas três concentrações de Mg foram transformados em micromoles de Zn por grama de matéria seca de raiz (Figuras 11 e 12 e Tabela 78).

A análise do zinco absorvido indicou diferenças significativas entre as cultivares, e as concentrações de Mg e Zn, havendo interações entre elas. O teste de médias (Tukey a 5%) mostra as diferenças das médias de zinco entre as cultivares (Tabela 78).

De acordo com Michaelis-Menten, a velocidade de absorção é decorrente do efeito conjugado dos parâmetros de absorção (Vmax e Km). A velocidade máxima de absorção de Zn (Vmax) pode ser definida como sendo a quantidade máxima absorvida do elemento por unidade de matéria seca, na unidade de tempo (Epstein, 1972; Malavolta, 1980; Malavolta et al., 1997).

Para interpretação do processo de absorção, calcularam-se os valores de Km e Vmax (Tabela 79) através da regressão pelo ajustamento dos dados experimentais na forma linear (Figura 11) da equação descrita por Lineweaver & Burk (1934). Para o cálculo dos mesmos valores, empregou-se também a equação de Hofstee (1952), que através do teste F (Apêndice 8) e dos coeficientes de determinação, não apresentou o melhor ajuste (Tabela 80).

Nas transformadas de Lineweaver & Burk, os valores de Km e Vmax, nas concentrações 1,0 e 6,0 mM de Mg (Tabela 79), apresentaram diferenças entre as cultivares, destacando-se os menores valores de Km para as cultivares IAC 15-1 e DM Nobre (indicadas para solos parcialmente corrigidos). Na dose 3,0 mM de Mg, o Km foi semelhante nas quatro cultivares. Na seleção de plantas eficientes na absorção de nutrientes, tem-se procurado plantas com baixos valores de Km (Furlani, 1988; Stefanutti, 1997). Espera-se que cultivares com menores valores de Km tenham maior capacidade de absorver nutrientes.

Os resultados da Tabela 78 e da Figura 12 corroboram os obtidos por Sadana & Takkar (1983), visto que a adição de magnésio na solução, reduziu significativamente a absorção de Zn. No presente ensaio houve, na média, uma redução de 44% da concentração 1,0 para 3,0 mM e de 34% da concentração 3,0 para 6,0 mM de Mg.

Tabela 78. Micromoles de Zn absorvido por raízes destacadas de soja em diversas concentrações de ZnCl₂ na solução externa. Tempo de absorção: 60 minutos. (média de 3 repetições)

Concentração		Doses de Zn ($\mu\text{M L}^{-1}$)				
Mg	Cultivares	0,5	1	2	5	10
$\mu\text{moles de Zn g}^{-1} \text{MS}$						
1,0 mM L ⁻¹	IAC 15-1	0,725 a	1,308 ab	2,322 ab	5,213 a	8,829 ab
	IAC 17	0,755 a	1,486 ab	3,006 a	5,756 a	9,472 a
	FT Estrela	0,676 a	2,077 a	4,424 ab	5,458 a	8,544 b
	DM Nobre	0,460 a	0,764 b	1,720 b	3,181 a	4,975 c
	Média	0,654	1,409	3,118	4,902	7,955
3,0 mM L ⁻¹	IAC 15-1	0,463 a	0,708 a	1,380 a	3,293 ab	5,782 b
	IAC 17	0,465 a	0,930 a	1,166 a	3,895 a	7,664 a
	FT Estrela	0,373 a	0,548 a	1,127 a	2,612 bc	5,505 b
	DM Nobre	0,320 a	0,657 a	0,906 a	2,174 c	3,644 c
	Média	0,405	0,711	1,145	2,994	5,649
6,0 mM L ⁻¹	IAC 15-1	0,315 a	0,504 a	0,869 a	2,214 a	3,460 ab
	IAC 17	0,342 a	0,593 a	1,009 a	2,085 a	3,925 a
	FT Estrela	0,219 a	0,306 a	0,770 a	1,698 a	2,833 b
	DM Nobre	0,281 a	0,396 a	0,828 a	1,464 a	2,713 b
	Média	0,289	0,450	0,869	1,865	3,233
	DMS	0,912				
	CV (%)	18,448				

¹ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observa-se na Figura 11 e nas Tabelas 79 e 80, que a natureza da inibição entre o magnésio e o zinco foi do tipo não competitiva, ou seja, esses dois elementos

combinam-se com o sítio não ativo do carregador (Epstein, 1972 e Malavolta et al., 1997), ocasionando muitas vezes na deformação deste, de modo que não ocorre a formação do complexo enzima-substrato (ES) na velocidade usual e, uma vez formado, o complexo ES não se desdobra na velocidade normal para originar os produtos (Lehninger et al., 1995). Nesse tipo de inibição, a maior absorção de um elemento não pode ser anulada pelo aumento da concentração do outro (Malavolta et al., 1997).

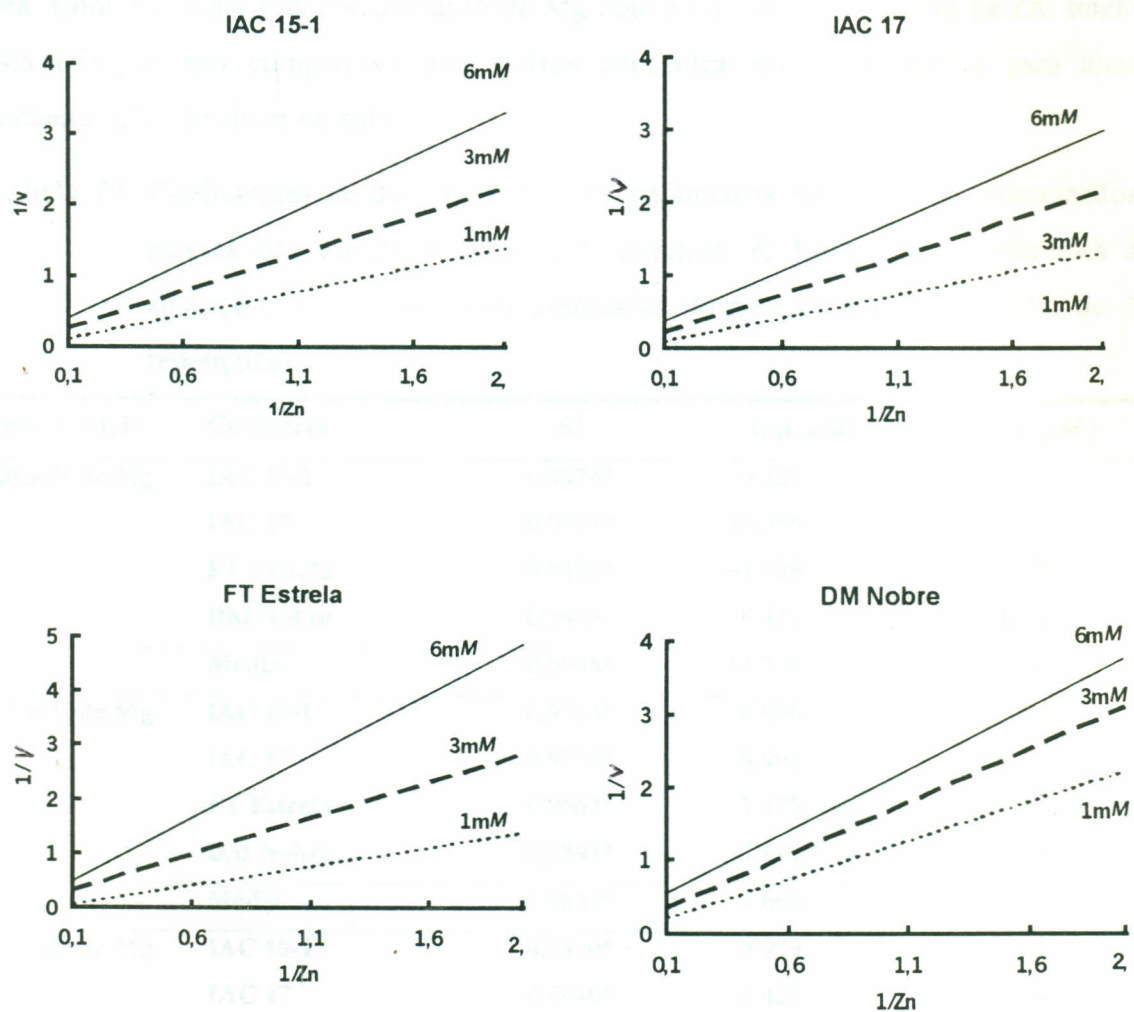


Figura 11. Efeito das concentrações de magnésio na absorção de zinco pelas cultivares de soja sob as concentrações externa de Zn - média de três repetições. (transformada de Lineweaver & Burk)

Sadana & Takkar (1983), estudando o efeito do cálcio e magnésio na absorção e translocação de ^{65}Zn em mudas de arroz, também observaram que mesmo não sendo competitiva, a adição de 20 mM magnésio na solução ocorreu uma redução de 90% na absorção de zinco pelas raízes.

Rashid et al. (1976), com a cultura do arroz, verificaram que a absorção de Zn diminuía quando se aumentava a concentração de Ca de 0,5 mM para 5,0mM, em ambos os mecanismos, ou seja, quando a concentração de zinco era baixa ou quando era alta. Com o aumento na concentração de Mg houve inibição na absorção de Zn, sendo esta inibição não competitiva para baixas concentrações e competitiva para altas concentrações de zinco no solo.

Tabela 79. Coeficientes de determinação e os parâmetros Km e Vmax determinados através das transformações de Lineweaver & Burk (1934), referentes à absorção de Zn por raízes destacadas durante 60 minutos. (média de 3 repetições)

Concentração	Cultivares	R ²	Km (μM)	Vmax (μM)
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	0,9974*	9,225	13,908
	IAC 17	0,9993*	19,306	30,030
	FT Estrela	0,9498*	64,439	93,457
	DM Nobre	0,9906*	9,317	8,811
	Média	0,9998*	13,298	17,422
3,0 mM de Mg	IAC 15-1	0,9764*	6,956	6,592
	IAC 17	0,9739*	8,901	8,673
	FT Estrela	0,9662*	7,175	5,417
	DM Nobre	0,9894*	7,699	5,283
	Média	0,9895*	7,600	6,250
6,0 mM de Mg	IAC 15-1	0,9820*	5,999	3,942
	IAC 17	0,9940*	6,422	4,640
	FT Estrela	0,9532*	8,665	3,764
	DM Nobre	0,9751*	6,619	3,576
	DM Nobre	0,9609*	1,803	2,610

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A constante K_m diminuiu significativamente ($p < 0,05$) para todas as cultivares, nas concentrações 1,0 mM e 6,0 mM de magnésio. O mesmo não foi observado nas transformações de Hofstee (Tabela 80): na concentração 3,0 mM de magnésio, a constante K_m foi pouco afetada.

Os valores obtidos para V_{max} , nas três concentrações de magnésio, apresentaram diferenças; realçaram essas diferenças as cultivares FT Estrela na concentração 1,0 mM e IAC 17 nas concentrações de 1,0, 3,0 e 6,0 mM de Mg. Essas cultivares mostraram ser mais responsivas ao aumento da concentração de zinco na solução.

Segundo Furlani (1988) e Stefanutti (1997), em estudos com genótipos de arroz, observaram que plantas mais adaptadas às condições de elevada fertilidade, são aquelas que possuem o V_{max} correspondente aos valores mais altos.

Nielsen & Barber (1978), trabalhando com milho, encontraram uma relação direta entre plantas que apresentavam alto V_{max} e plantas que absorviam mais o nutriente. Através desses resultados, pode-se supor que alta V_{max} para as soluções com maior concentração do elemento seja mais uma ferramenta a ser empregada na avaliação de cultivares mais responsivas ao aumento do Mg e do Zn na solução.

A Figura 12 apresenta a absorção de zinco nas três concentrações de magnésio realizadas pelas quatro cultivares de soja. Observa-se uma diminuição significativa na concentração de Zn com o aumento da concentração de Mg na solução. A cultivar DM Nobre foi a menos afetada com o aumento da concentração de magnésio.

Tabela 80. Equações de regressão, coeficiente de determinação e os parâmetros Km e Vmax determinados através das transformações de Hofstee (1952), referentes à absorção de Zn por raízes destacadas durante 60 minutos. (média de 3 repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²	Km (μM)	Vmax (μM)
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	Y = 17,1239 - 10,8362X	0,5440*	10,836	17,124
	IAC 17	Y = 21,8038 - 13,4210X	0,9379*	13,421	21,804
	FT Estrela	Y = 9,7551 - 4,4932X	0,4330 ^{NS}	4,493	9,755
	DM Nobre	Y = 9,6486 - 10,1037X	0,8513*	10,104	9,649
	Média	Y = 16,8523 - 11,7709X	0,9224*	11,771	16,852
3,0 mM de Mg	IAC 15-1	Y = 11,8078 - 13,2951X	0,5963*	13,295	11,808
	IAC 17	Y = 6,4617 - 4,5658X	0,0463 ^{NS}	4,566	6,462
	FT Estrela	Y = 8,2311 - 10,5740X	0,2033 ^{NS}	10,574	8,231
	DM Nobre	Y = 8,4238 - 12,7702X	0,6188*	12,770	8,424
	Média	Y = 11,3012 - 14,0000X	0,4631*	14,000	11,301
6,0 mM de Mg	IAC 15-1	Y = 6,4236 - 10,5041X	0,6803*	10,504	6,424
	IAC 17	Y = 7,2724 - 10,7848X	0,8063*	10,785	7,272
	FT Estrela	Y = 5,1819 - 11,4650X	0,4150 ^{NS}	11,465	5,182
	DM Nobre	Y = 3,8631 - 7,0410X	0,6711*	7,041	3,863
	Média	Y = 6,1604 - 11,1094X	0,7658*	11,109	6,160

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

4.8.2 Determinação de Km e Vmax no experimento de Mg e Mn

Os resultados obtidos em cpm (contagens por minuto) foram transformados em micromoles de Mn por grama de matéria seca de raiz (Figuras 13 e 14 e Tabela 81). A análise de variância do manganês absorvido apresentou diferenças significativas entre as cultivares, entre as concentrações de magnésio e as de manganês, havendo também interações entre elas. O teste de Tukey (5%) mostra as diferenças das cultivares dentro de cada concentração de Mg e Mn (Tabela 81).

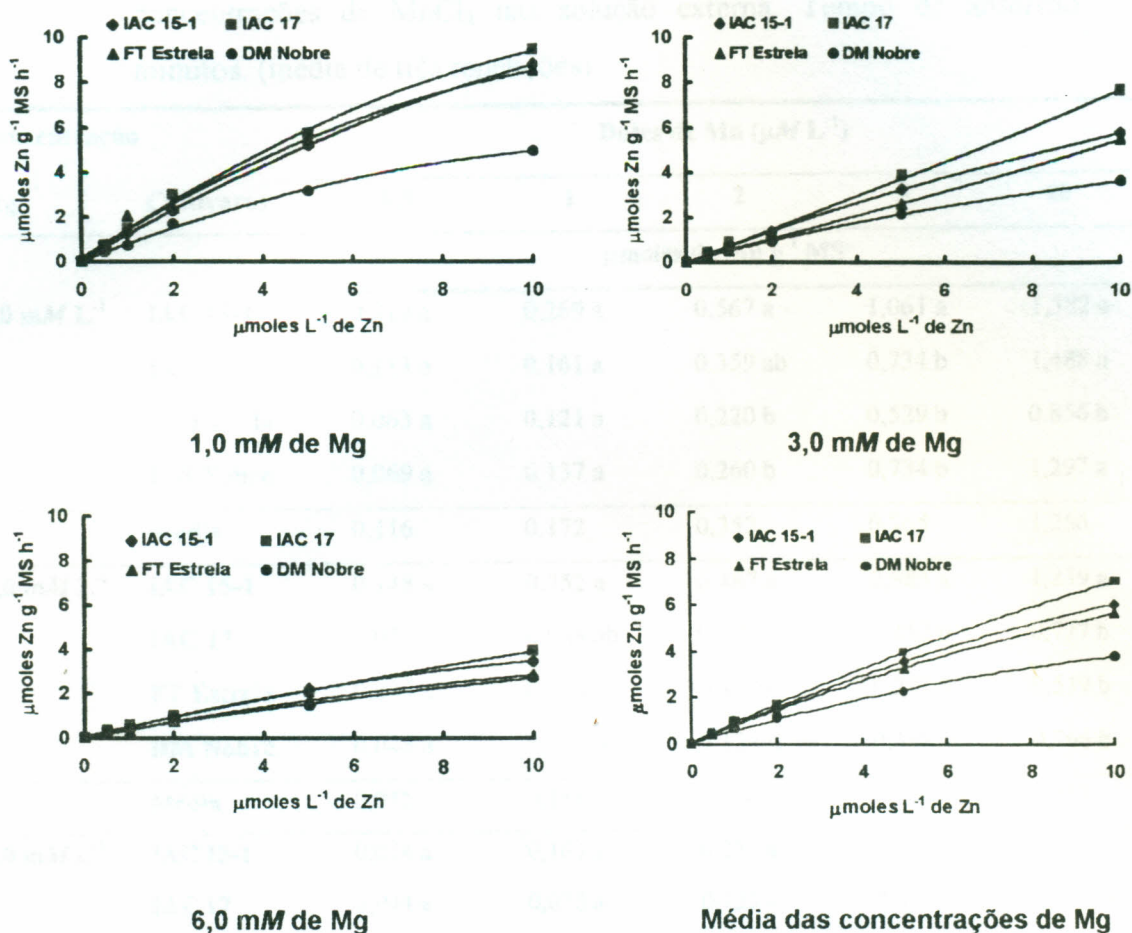


Figura 12. Absorção de Zn por raízes destacadas de quatro cultivares de soja em função da concentração iônica externa de Mg e Zn. (média de três repetições)

Tais resultados (Tabela 76 e 77 e Figuras 13 e 14) mostram que as cultivares apresentaram diferenças significativas na absorção de manganês. Segundo Foy et al. (1969), Foy (1976) e Stefanutti (1997), a absorção dos nutrientes é controlada por fatores genéticos e ambientais.

Tabela 81. Micromoles de Mn absorvido por raízes destacadas de soja em diversas concentrações de $MnCl_2$ nas solução externa. Tempo de absorção: 60 minutos. (média de três repetições)

Concentração		Doses de Mn ($\mu M L^{-1}$)				
Mg	Cultivares	0,5	1	2	5	10
$\mu\text{moles de Mn g}^{-1} \text{MS}$						
1,0 $mM L^{-1}$	IAC 15-1	0,219 a	0,269 a	0,567 a	1,061 a	1,382 a
	IAC 17	0,113 a	0,161 a	0,359 ab	0,734 b	1,488 a
	FT Estrela	0,063 a	0,121 a	0,220 b	0,529 b	0,856 b
	DM Nobre	0,069 a	0,137 a	0,260 b	0,734 b	1,297 a
	Média	0,116	0,172	0,352	0,765	1,256
3,0 $mM L^{-1}$	IAC 15-1	0,148 a	0,352 a	0,487 a	0,883 a	1,239 a
	IAC 17	0,056 a	0,088 ab	0,171 b	0,452 b	0,777 b
	FT Estrela	0,037 a	0,060 b	0,167 b	0,292 b	0,549 b
	DM Nobre	0,048 a	0,091 ab	0,134 b	0,348 b	0,766 b
	Média	0,072	0,148	0,240	0,494	0,833
6,0 $mM L^{-1}$	IAC 15-1	0,074 a	0,164 a	0,252 a	0,633 a	0,720 a
	IAC 17	0,044 a	0,078 a	0,153 a	0,362 ab	0,521 ab
	FT Estrela	0,020 a	0,041 a	0,079 b	0,182 b	0,311 b
	DM Nobre	0,026 a	0,049 a	0,075 b	0,171 b	0,254 b
	Média	0,041	0,083	0,140	0,337	0,452
	DMS	0,289				
	CV (%)	34,116				

¹ Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

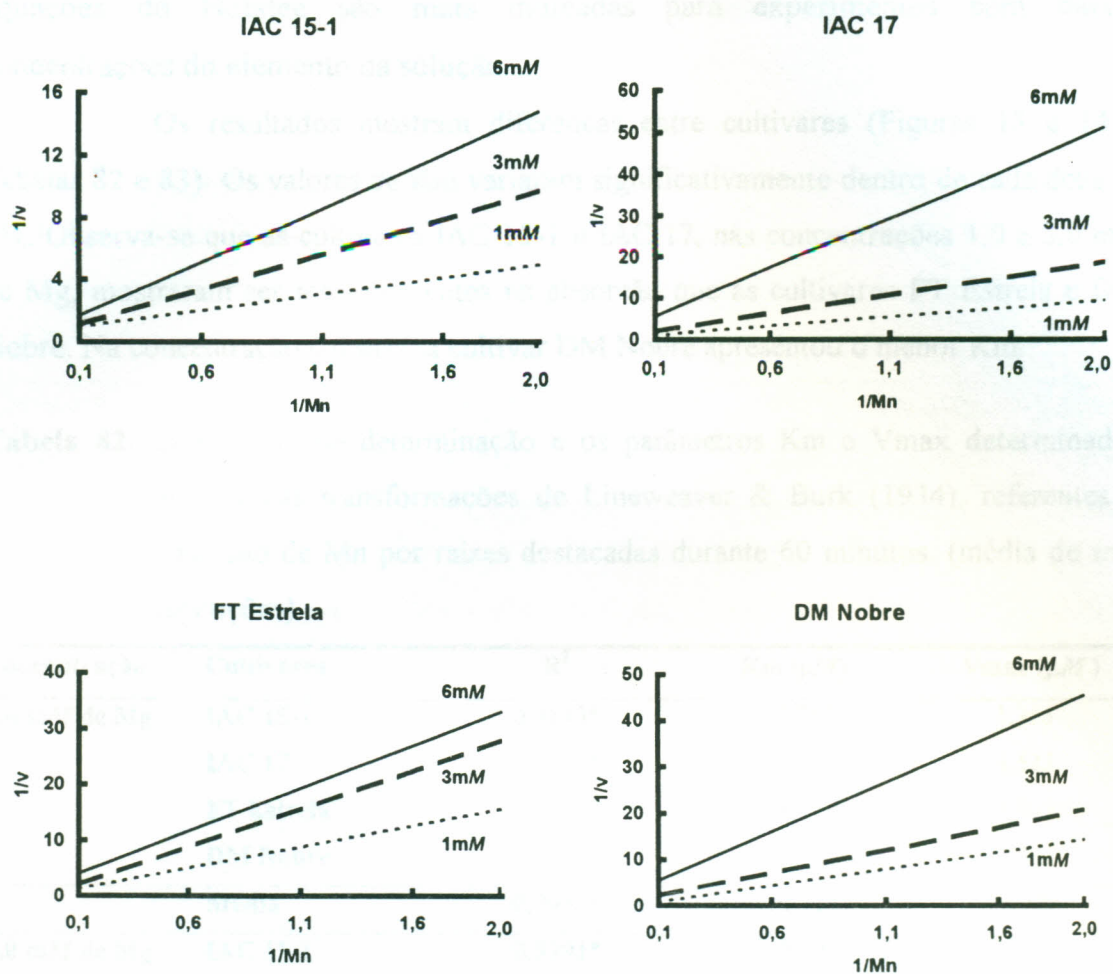


Figura 13. Efeito das concentrações de magnésio na absorção de manganês pelas cultivares de soja sob as concentrações externa de Mn - média de três repetições. (transformadas de Lineweaver & Burk)

Para a comparação da absorção, foram calculados os valores de Km e Vmax através das equações de regressão obtidos pelo ajustamento dos dados experimentais feitos pelas transformadas de Lineweaver & Burk (Figura 13 e Tabela 82) e Hofstee (Tabela 83). As transformadas de Lineweaver & Burk apresentaram novamente o melhor ajuste que as de Hofstee. Segundo Stefanutti (1997), as

equações de Hofstee são mais indicadas para experimentos com baixas concentrações do elemento na solução.

Os resultados mostram diferenças entre cultivares (Figuras 13 e 14 e Tabelas 82 e 83). Os valores de Km variaram significativamente dentro de cada dose de Mg. Observa-se que as cultivares IAC 15-1 e IAC 17, nas concentrações 1,0 e 3,0 mM de Mg, mostraram ser mais eficientes na absorção que as cultivares FT Estrela e DM Nobre. Na concentração 6,0 mM, a cultivar DM Nobre apresentou o menor Km.

Tabela 82. Coeficiente de determinação e os parâmetros Km e Vmax determinados através das transformações de Lineweaver & Burk (1934), referentes à absorção de Mn por raízes destacadas durante 60 minutos. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	R ²	Km (μ M)	Vmax (μ M)
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	0,9143*	2,853	1,353
	IAC 17	0,9601*	6,648	1,522
	FT Estrela	0,9992*	14,769	1,939
	DM Nobre	0,9996*	11,115	1,543
	Média	0,9935*	10,773	2,020
3,0 mM de Mg	IAC 15-1	0,9791*	7,591	1,663
	IAC 17	0,9808*	8,873	0,903
	FT Estrela	0,9828*	22,827	1,669
	DM Nobre	0,9881*	8,923	1,004
	Média	0,9962*	11,068	1,197
6,0 mM de Mg	IAC 15-1	0,9867*	7,222	1,048
	IAC 17	0,9970*	12,136	1,092
	FT Estrela	0,9995*	58,670	2,383
	DM Nobre	0,9955*	2,383	0,357
	Média	0,9942*	6,987	0,415

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Para plantas mais adaptadas às condições de elevada fertilidade, a Vmax deve corresponder aos valores mais altos (Furlani, 1988 e Stefanutti, 1997). A Vmax obtida pela transformada de Lineweaver & Burk (Tabela 82) mostrou que a cultivar FT

Estrela apresentou os maiores valores, fato esse não observado nas transformadas de Hofstee (Tabela 83).

Tabela 83. Equações de regressão, coeficiente de determinação e os parâmetros Km e Vmax determinados através das transformações de Hofstee (1952), referentes à absorção de Mn por raízes destacadas durante 60 minutos. (média de três repetições)

Concentração	Cultivares	Equação	R ²	Km (μM)	Vmax (μM)
1,0 mM de Mg	IAC 15-1	Y = 1,7531 - 3,9251X	0,7361*	3,925	1,753
	IAC 17	Y = 2,4790 - 11,0647X	0,4048 ^{NS}	11,065	2,479
	FT Estrela	Y = 2,5196 - 19,6497X	0,9269*	19,650	2,520
	DM Nobre	Y = 1,8789 - 9,3638X	0,2273 ^{NS}	9,364	1,879
	Média	Y = 2,0297 - 8,5634X	0,6513*	8,563	2,030
3,0 mM de Mg	IAC 15-1	Y = 1,7731 - 17,2067X	0,8044*	17,207	1,773
	IAC 17	Y = 0,3696 - 0,2497X	0,0778 ^{NS}	0,250	0,370
	FT Estrela	Y = 0,8756 - 9,8962X	0,3171 ^{NS}	9,896	0,876
	DM Nobre	Y = 1,0232 - 9,2851X	0,1737 ^{NS}	9,285	1,023
	Média	Y = 0,9578 - 7,8889X	0,4052 ^{NS}	7,889	0,958
6,0 mM de Mg	IAC 15-1	Y = 0,6174 - 10,9868X	0,6277*	10,987	0,617
	IAC 17	Y = 1,2822 - 14,3233X	0,8625*	14,323	1,282
	FT Estrela	Y = 1,2412 - 29,5750X	0,9615*	29,575	1,241
	DM Nobre	Y = 0,4399 - 8,1900X	0,8791*	8,190	0,440
	Média	Y = 0,5252 - 9,7086X	0,6381*	9,709	0,525

* significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo pelo teste F.

Com relação aos parâmetros de cinética de absorção, foram observados maiores valores de Km e Vmax na cultivar FT Estrela sob a concentração de 1,0 mM e na cultivar IAC 17 sob a concentração 3,0 mM de Mg. Estes resultados corroboram os obtidos por Stefanutti (1997), mostrando que os parâmetros de absorção Km e Vmax são independentes na absorção. Esses resultados também foram observados no experimento com Zn (item 4.8.1).

Os resultados do presente ensaio concordam com os obtidos por Mass et al. (1969), que ao estudarem a influência do cálcio e magnésio na absorção de manganês em cevada, observaram que os efeitos interiônicos entre o Mg e Mn são do tipo não competitiva (Figura 13). Nesse tipo de inibição, as ordenadas do ponto de intersecção e o coeficiente angular mudam com a presença do inibidor. Tais representações gráficas são bem explicadas por Epstein (1972) e Malavolta et al. (1997).

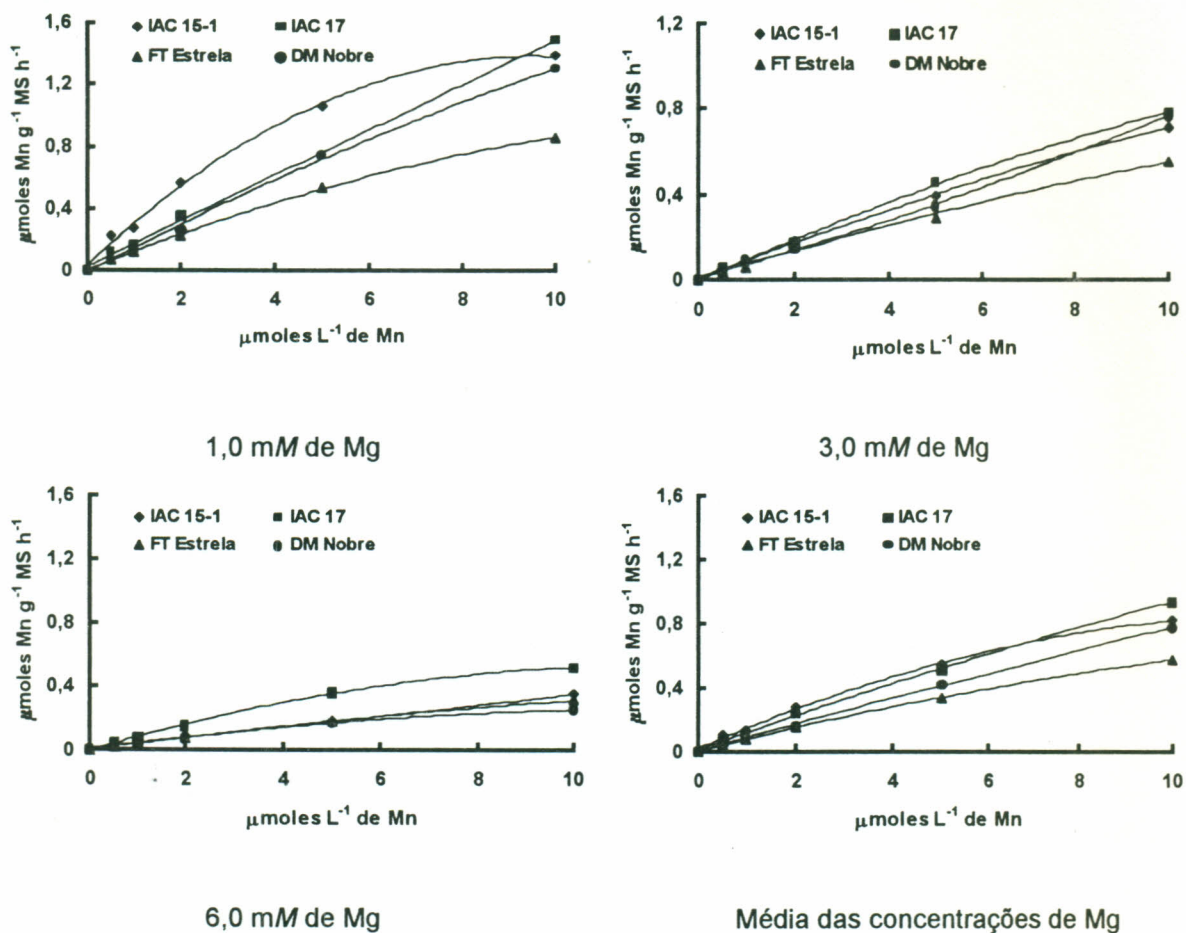


Figura 17. Absorção de Mn por raízes destacadas de quatro cultivares de soja em função da concentração iônica externa de Mg e Mn. (média de três repetições)

A absorção de manganês nas três concentrações de magnésio nas quatro cultivares de soja são apresentadas na Figura 14. Verifica-se uma diminuição significativa na concentração de Mn com o aumento da concentração de Mg na solução. A cultivar IAC 15-1 absorveu a maior quantidade de manganês nas três concentrações de magnésio, o inverso foi obtido com a cultivar FT Estrela. As cultivares DM Nobre e IAC 17 tiveram comportamentos intermediários.

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que foram conduzidos os ensaios, os resultados permitem concluir que:

1. Existe inibição não competitiva entre o Mg e Zn e entre o Mg e Mn; o aumento na concentração de Mg na solução diminui significativamente a absorção de Zn e Mn.
2. As doses de Zn ou Mn proporcionam aumento significativo na produção de matéria seca total e de grãos.
3. As cultivares apresentam comportamento distinto na absorção de nutrientes.
4. Cultivares indicadas para solos parcialmente corrigidos são mais eficientes na absorção de nutrientes.
5. O aumento na concentração de Mg e Zn ou Mn na solução afeta positivamente o teor de óleo nos grãos, o inverso ocorrendo com o teor de proteína.
6. O pericarpo, no geral, é a parte da planta que apresenta os maiores teores de magnésio, enquanto que os maiores teores de zinco e manganês são encontrados nas folhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, A.V.R.; CARNAUBA, B.A.A.; CIARELLI, D.M.; FRAZÃO, D.A.C.; PRADO, H.; BERGAMASCHI, O.; MORTATTI, J.; ROSSETO, R. MALAVOLTA, E. Estudos sobre nutrição mineral do arroz. XXIV. Absorção e redistribuição do radiofósforo nas variedades L-45, Dourado Precoce e Penatie. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.40, n.1, p.945-983, 1983.
- ADRIANO, D.C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer-Verlag, 1986. 533p.
- AGARWALA, S.C.; CHATTERJEE, C.; GUPTA, S.; NAUTIYAL, N. Iron-manganese-magnesium interaction in cauliflower. **Journal of Plant Nutrition**, v.11, n.6/11, p.1005-1014, 1988.
- ALMEIDA, J.C.R. Combinação de doses de fósforo e magnésio na produção e nutrição de duas braquiárias. Piracicaba, 1998. 81p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A. **Absorção de nutrientes pela soja em latossolo roxo sob vegetação de cerrado**. Campinas: IAC, 1986. 36p.
- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A.; TISSELLI FILHO, O. Composição mineral das sementes de nove cultivares de soja. **Bragantia**, v.36, n.1, p.47-50, 1977.

- BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants: development visual and analytical diagnosis.** Stuttgart: Gustav Fischer Verlag Jena, 1992. 741p.
- BOARO, C.S.F.; RODRIGUES, J.D.; PEDRAS, J.F.; RODRIGUES, S.D.; DELACHIAVE, M.E.; ONO, E.O. Produção de matéria seca de feijoeiro submetidos a diferentes níveis de magnésio em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.9, p.965-970, 1997.
- BOAWN, L.C.; VIETS, F.G.; CRAWFORD, C.L.; NELSON, J.L. Effect of nitrogen carrier, nitrogen rate, zinc rate, and soil pH on zinc uptake by sorghum, potatoes, and sugar beets. **Soil Science**, v.90, p.329-337, 1960.
- BORKERT, C.M. Manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Ed.) **Micronutrientes na agricultura.** Piracicaba: POTAFOS; CNPq, 1991. p.173-189.
- BRAR, M.S.; SEKHON, G.S. Effect on manganese on zinc-65 absorption by rice seedlings and its translocation within the plants. **Plant and Soil**, v.44, p.459-462, 1976.
- BRENNAN, R.F.; ARMOUR, J.D.; REUTER, D.J. Diagnosis of zinc deficiency. In: ROBSON, A.D. (Ed.) **Zinc in soil and plants.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. p.167-181.
- BURNELL, J.N. The biochemistry of manganese in plants. In: GRAHAN, R.D.; HANNAM, R.J.; UREN, N.C. (Ed.) **Manganese in soils and plants.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. p.125-138.
- BURTON, J.W. Qualitative genetics and cytogenetics. In: WILCOX, J.R. (Ed.) **Soybeans: improvement, production and uses.** Madison: ASA, 1987. p.211-248.
- CÂMARA, G.M.S. **Soja: tecnologia da produção.** Piracicaba: ESALQ, 1998. p.1-25: Origem, difusão geográfica e importância da soja.

- CARMELLO, Q.A.C. Hidroponia. In: DECHEN, A.R.; BOARETTO, A.E.; VERDADE, F.C. (Ed.) **Adubação produtividade e ecologia**. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.355-368.
- CARMELLO, Q.A.C. Qualidade da água e manejo da solução hidropônica. In: ENCONTRO DE HIDROPONIA, 2., Campinas, 1997. **Resumos**. Campinas: UNICAMP, 1997. p.49-69.
- CARRÃO-PANIZZI, M.C. Desenvolvimento de germoplasma de soja com características adequadas para o consumo humano 'in natura' e para a indústria de alimentos. In: EMBRAPA. **Resultados de pesquisa da EMBRAPA Soja 1997**. Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1998. p.15-19. (Documento, 118).
- CASTRO, C. Boro e estresse hídrico na nutrição e produção do girassol. Piracicaba, 1999. 120p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- CRARK, R.B. Physiological aspects of calcium, magnesium, and molybdenum deficiencies in plants. In: ADAMS, F. (Ed.) **Soil acidity and liming**. Madison: ASA, 1984. p.99-170.
- CLARKSON, D.T. The uptake and translocation of manganese by plant roots. In: GRAHAN, R.D.; HANNAM, R.J.; UREN, N.C. (Ed.) **Manganese in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. p.101-112.
- COBRA NETTO, A.; ACCORSI, W.R.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., var. Roxinho). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.28, n.1, p.257-274, 1971.

- DANTAS, J.P.; BERGAMIN FILHO, H.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijão macassar (*Vigna sinensis* (L.) Endl.). II. Efeitos das carências de macronutrientes no crescimento, produção e composição mineral. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.36, n.1, p.247-257, 1979.
- EMBRAPA. **Recomendação técnica para a cultura da soja na região Central do Brasil 1998/99**. Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1998. 182p. (Documentos, 120).
- EPSTEIN, E. Dual pattern of ion absorption by plant cells and by plants. **Nature**, v.212, p.1324-1327, 1966.
- EPSTEIN, E. **Mineral nutrition of plants; principles and perspectives**. New York: John Wiley and Sons, 1972. 412p.
- FARIAS, J.R.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L.; DELATRE, N.; BORDINGNON, J.R.; AVANZI, M.A.; VIVAN, L.M.; DELPIN, K.E. Respostas da cultura da soja à disponibilidade hídricas. In: EMBRAPA. **Resultados de pesquisa da EMBRAPA Soja 1997**. Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1998. p.194-197. (Documentos, 118).
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development description for soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). **Crop Science**, v.11, n.6, p.929-931, 1971.
- FOY, C.D. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. **Ciência e Cultura**, v.28, n.2, p.150-155, 1976.
- FOY, C.D. Physiological effects of hydrogen, aluminum, and manganese toxicities in acid soil. In: ADAMS, F. (Ed.) **Soil acidity and liming**. Madison: ASA, 1984. p.57-98.
- FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; ARMIGER, W.H. Differential tolerance of cotton varieties to excess manganese. **Agronomy Journal**, v.61, n.2, p.690-694, 1969.

- FRANCO, A.A.; DÖBEREINER, J. Toxidez de manganês de um solo ácido na simbiose soja - Rhizobium. **Pesquisa Agropecuária Brasileira. Série Agronomia**, v.6, n.4, p.57-66, 1971.
- FURLANI, A.M.C. Variações em parâmetros de cinética de absorção de fósforo de três linhagens de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, n.1, p.77-80, 1988.
- GHAZALI, N.J.; COX, F.R. Effect of temperature on soybean growth and manganese accumulation. **Agronomy Journal**, v.73, p.363-367, 1981.
- GUPTA, V.K.; SINGH, B. Residual effect of zinc and magnesium on maize crop. **Journal of Indian Society of Soil Science**, v.33, p.204-207, 1985.
- HECKMAN, J.R. Using a chlorophyll meter for crop diagnostics. **The Soil Profile**, v.5, n.3, p.1-4, 1995.
- HEWITT, E.J. **Sand and water culture methods; used in the study of plant nutrition**. Maidstones: CAB Press, 1966. 547p.
- HOFSTEE, B.H.J. On the evaluation of constants V_{max} and K_m in enzyme reactions. **Science**, v.116, p.329-331, 1952.
- HOAGLAND, D.R.; BROYER, T.C. General nature of the process of salt accumulation by roots with description of experimental methods. **Plant Physiology**, v.11, p.471-507, 1936.
- HOPKINS, W.G. Plants and inorganic nutrients. In: HOPKINS, W.G. (Ed.) **Introduction to plant physiology**. Toronto: John Wiley & Sons, 1995. p.65-80.
- HOROWITZ, A.; DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. I. Manganês na Zona da Mata e no Sertão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.1, p.383-390, 1966.

- HUGUET, C.; COPPENET, M. **Le magnésium en agriculture**. Paris: INRA, 1992. 196p.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Cultivares de elite** - 1997. Campinas: IAC, 1997. 57p.
- JOHNSON, C.M.; STOUT, P.R.; BROYER, T.C.; CARLTON, A.B. Comparative chlorine requirements of different plant species. **Plant and Soil**, v.8, n.1, p.337-353, 1957.
- JONES, J.P.; FOX, R.L. Phosphorus nutrition of plants influenced by manganese and aluminum uptake from and oxisol. **Soil Science**, v.126, n.1, p.231-236, 1978.
- KABATA PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315p.
- KOMATUDA, C.R.N. Comportamento de variedades de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em condições de deficiência ou excesso de manganês em solução nutritiva. Viçosa, 1988. 62p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- KOMATUDA, C.R.N.; SEDIYAMA, C.S.; NOVAIS, R.F.; MONNERAT, P.H.; NEVES, J.C.L. Comportamento de cultivares de soja sob deficiência ou excesso de manganês em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.1, p.217-221, 1993.
- LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de bioquímica**. São Paulo: SARVIER, 1995. 839p.
- LINDSAY, C.C.; ROSS, O.N. Physiological functions of manganese in plants. In: GRAHAN, R.D.; HANNAM, R.J.; UREN, N.C. (Ed.) **Manganese in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. p.139-154.

- LINDSAY, W.L. Inorganic equilibria affecting micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (Ed.) **Micronutrients in agriculture**. Madison: ASA, 1991. p. 89-112.
- LINEWEAVER, H.; BURK, D. The determination of enzyme dissociation constants. **Journal of the American Chemical Society**, v.56, n.1, p.658-666, 1934.
- LO, S.Y.; REISENAUER, H.M. Zinc nutrition of alfalfa. **Agronomy Journal**, v.60, n.3, p.464-466, 1968.
- LÖHNIS, M.P. Effect of magnesium and calcium supply on the uptake of manganese by various crop plants. **Plant and Soil**, v.12, n.4, p.339-376, 1960.
- LONERAGAN, J.F.; GRUNES, D.L.; WELCH, R.M.; ADUAYI, E.A.; TENGAH, A.; LAZAR, V.A.; CARY, E.E. Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply. **Soil Science Society of America Journal**, v.46, n.2, p.345-352, 1982.
- LONERAGAN, J.F.; WEBB, M.J. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In: ROBSON, A.D. (Ed.) **Zinc in soil and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. P.119-134.
- LOPES, A.S. **Solos sob "cerrado"**; características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 162p.
- LÓPES GOROSTIAGA, O.E. Contribuição ao estudo das relações entre zinco e o fósforo na nutrição de plantas. Piracicaba, 1972. 44p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- LOUÉ, A. **Oligo-éléments en agriculture**. Antibes: SCPA/NATHAN, 1993. 577p.

- MAIA, N.B. **Produção e qualidade do óleo essencial de duas espécies de menta cultivadas em soluções nutritivas.** Piracicaba, 1998. 105p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação da soja.** São Paulo: ULTRAFERTIL, 1978. 40p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. 496p.
- MALAVOLTA, E. **Micronutrientes na adubação.** Paulínia: Nutriplant, 1986. 70p.
- MALAVOLTA, E.; MALAVOLTA, M.L. **Diagnose foliar: princípios e aplicações.** In: BULL, L.T.; ROSOLEM, C.A. **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação.** Botucatu: FEPAF, 1989. p.227-308.
- MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. **Absorção de radiozinc por duas variedades de arroz.** Piracicaba: CENA/USP, 1999. 5p.
- MALAVOLTA, E. VITTI, G.C; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas; princípios e aplicações.** Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MALAVOLTA, E.; FREIRE, F.M.; CASAGRANDE, J.C.; CARRETERO STOLF, R.; PEDRAS, J.F.; DEMATTÊ, M.E.S.P.; PITELLI POLITANO, W. **Estudos sobre a nutrição mineral de sorgo granífero. VI. Absorção de fosfato por raízes destacadas de plantas de três variedades comerciais.** **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.34, n.1, p.383-406, 1977.

- MALAVOLTA, E.; CALVACHE ULLOA, A.M.; MORALES MORALES, L.E.; ORTIZ, O.G.B.; URQUIAGA CABALLERO, S.; ARAUJO, J.A.C.; MORAES, S.O.; SIMABUCO, S.M.; FREITAS, S.S.; FAQUIM, V.; NASCIMENTO, V.M.; RUY, V.M.; GALBIATTI, J.A.; LIMA, S.L.; ANGULO FILHO, R. Efeito das **deficiências de alguns micronutrientes em dois cultivares (Santa Rosa e UFV-1) de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.37, n.1, p.365-372, 1980.
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.C.O. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro. In: MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.C.O. (Ed.) **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1974. p.205-255.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MASCARENHAS, H.A.A.; NEPTUNE, A.M.L.; MURAOKA, T.; BULISANI, E.A.; HIROCE, R. Absorção de nutrientes por cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.4, n.1, p.92-96, 1980.
- MASS, E.V.; MOORE, D.P.; MASON, B.J. Influence of calcium and magnesium on manganese absorption. **Plant Physiology**, v.44, p.796-800, 1969.
- MATIELLO, J.B.; VIEIRA, E. Efeito da carência de manganês sobre a produção em cafezais na Chapada Diamantina, Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 19., Três Pontas, 1993. **Trabalhos apresentados**. Três Pontas: IBC, 1993. p.29-30.
- MEHLICH, A. Aluminum, iron, and pH in relation to lime induced manganese deficiencies. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.21, p.625-628, 1957.

- MENGEL, D.B.; SEGARS, W.; REHM, G.W. Soil fertility and liming. In: WILCOX, J.R. (Ed.) **Soybeans: improvement, production and uses**. Madison: ASA, 1987. p.461-496.
- MENGEL, K; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.
- MEURER, E.J.; WANG, G.M.; WANG, S.R. Função dos nutrientes e sintomas de deficiências. In: MIYASAKI, S.; MEDINA, J.C. (Ed.) **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981. p.156-167.
- MOREIRA, A. Efeito de fontes e doses de fósforo na alfafa (*Medicago sativa* L.) e centrosema (*Centrosema pubescens* Benth.) e avaliação de extratores. Piracicaba, 1997. 107p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MUNNS, D.N.; JOHNSON, C.M.; JACOBSON, L. Uptake and distribution of manganese in oat plants. I. Varietal variation. **Plant and Soil**, v.19, n.1, p.115-126, 1963.
- NAZRUL-ISLAM, A.K.M. Effects of interaction of calcium and manganese on the growth and nutrition of *Epilobium hirsutum* L. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.32, n.2, p.161-168, 1985.
- NIELSEN, N.E.; BARBER, S.A. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. **Agronomy Journal**, v.70, n.5, p.695-698, 1978.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; SEDYAMA, T. Deficiência de Mn em plantas de soja cultivadas em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n.1, p.199-204, 1989.
- OHKI, K. Manganese deficiency and toxicity levels for 'Bragg' soybeans. **Agronomy Journal**, v.68, n.4, p.861-864, 1976.

- OHKI, K. Zinc concentration in soybean as related to growth, photosynthesis, and carbonic anhydrase activity. **Crop Science**, v.18, n.1, p.78-82, 1978.
- OHKI, K. Manganese critical levels for soybean growth and physiological processes. **Journal of Plant Nutrition**, v.3, n.1-4, p.271-284, 1981.
- OHKI, K. Manganese deficiency and toxicity effects on growth, development and nutrient composition in wheat. **Agronomy Journal**, v.76, n.1, p.213-218, 1984.
- OHKI, K.; WILSON, D.O.; ANDERSON, O.E. Manganese deficiency and toxicity sensitivities of soybean cultivars. **Agronomy Journal**, v.72, n.5, p.713-716, 1980.
- OHLROGGE, A.J. Mineral nutrition of soybeans. In: NORMAN, A.G. (Ed.) **The soybean**. New York: Academic Press, 1963. p.125-160.
- OLIVEIRA JUNIOR, J.A. Efeitos do manganês sobre a soja em solução nutritiva e em solo de cerrado do triângulo mineiro. Piracicaba, 1996. 69p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- OLIVEIRA JUNIOR, J.A., CABRAL, C.; HEINRICHS, R.; MALAVOLTA, E. Efeito do manganês sobre a produção e composição mineral da soja cultivada em solução nutritiva. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23., Caxambu, 1998. **Resumos**. Lavras: UFLA; SBCS; SBM, 1998. p.545.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. Toxidez de metais em plantas. I. caracterização de toxidez de manganês em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.16, n.6, p.815-821, 1981.
- PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M. Disponibilidade do manganês no solo. Dificuldades e problemas na interpretação da análise para fins de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, n.3, p.285-289, 1984.

- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.
- RASHID, A.; CHAUDHRY, F.M.; SHARIF, M. Micronutrient availability to cereals from calcareous soils. III. Zinc absorption by rice and its inhibition by important ions of submerged soils. **Plant and Soil**, v.45, n.3, p.613-623, 1976.
- REDDY, K.R.; SAXENA, M.C.; PAL, U.R. Effect of iron and manganese on ^{65}Zn absorption and translocation in soybean seedlings. **Plant and Soil**, v.49, n.2, p.409-415, 1978.
- REISENAUER, H.M. Determination of plant-available soil manganese. In: GRAHAN, R.D.; HANNAM, R.J.; UREN, N.C. (Ed.) **Manganese in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. p.87-100.
- RESH, H.M. **Hydroponic food production**. Santa Barbara: Woodbridge Press Publishing Company, 1986. 318p.
- REUTER, D.J.; EDWARDS, D.G.; WILHELM, N.S. Temperate and tropical crops. In: REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. (Ed.) **Plant analysis: an interpretation manual**. Collingwood: CSIRO, 1997. p.81-284.
- ROESSING, A.C. Situação mundial das oleaginosas. **Informe Econômico**, v.3, n.1, p.5-26, 1994.
- ROESSING, A.C.; GUEDES, L.C.A. Aspectos econômicos do complexo soja: sua participação na economia brasileira e evolução na região do Brasil Central. In: ARANTES, N.E.; SOUZA, P.I.M. (Ed.) **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.1-51.
- ROGERS, L.H.; WU, C. Zinc uptake by oats as influenced by application of lime and phosphate. **Journal of America Society Agronomy**, v.40, p.563-566, 1948.

- ROSOLEM, C.A.; NAKAGAWA, J. Deficiência de Mn em soja, induzida por adubação potássica e calagem. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 4., Porto Alegre, 1986. **Programa e resumos**. Londrina: CNPSo, 1986. p.53.
- SADANA, U.S.; TAKKAR, P.N. Effect of calcium and magnesium on ⁶⁵Zinc absorption and translocation in rice seedlings. **Journal of Plant Nutrition**, v.6, n.8, p.705-715, 1983.
- SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant physiology**. Belmont: Wadsworth Publishing Co., 1992. 682p.
- SANTOS, R.A.; CARVALHO, J.G.; MOREIRA, A.; EVANGELISTA, A.R. Efeito da relação de Ca:Mg nos teores e quantidades de micronutrientes na alfafa cv. Crioula. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., Petrolina, 1994. **Anais**. Petrolina: EMBRAPA, CPTSA, 1994. p.148-149.
- SCHMID, W.E.; HAAG, H.P.; EPSTEIN, E. Absorption of zinc by excised barley roots. **Physiologia Plantarum**, v.18, n.2, p.860-869, 1965.
- SEATZ, L.F.; STERGERS, A.J.; KRAMER, J.C. Crop response to zinc fertilization as influenced by lime and phosphorus applications. **Agronomy Journal**, v.51, p.457-459, 1959.
- SILVA, A.R.; ANDRADE, J.M.V.; PERES, J.R. Efeito residual de micronutrientes no teor foliar e na produção de soja no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.21, n.6, p.597-613, 1986.
- SILVA, D.G. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: Imprensa Universitária; UFV, 1990. 165p.

- SILVEIRA, J.S.M.; CARVALHO, C.H.S. Deficiência de manganês em café conilon. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15., Maringá, 1989. **Trabalhos apresentados**. Maringá: IBC, 1989. p.204-205.
- SOUTO, S.M.; DÖBEREINER, J. Toxidez de manganês em leguminosas forrageiras tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira. Série Agronomia**, v.4, p.129-138, 1969.
- SPEHAR, C.R. Composição mineral da soja cultivada em solo sob cerrado com dois níveis de calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.5, p.645-648, 1993.
- STANTON, D.A.; BURGER, R.; DU, T. Studies on zinc in selected orange free state soils. IV. Factors affecting the availability of zinc. **Agrochemophysica**, v.2, p.33-39, 1970.
- STEFANUTTI, R. Eficiência da absorção e utilização de fósforo e zinco por variedades de arroz. Piracicaba, 1997. 93p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- STEWART, J.A.; BERGER, K.C. Estimation of available soil zinc using magnesium chloride as extractant. **Soil Science**, v.100, n.4, p.244-250, 1965.
- TANAKA, R.T.; FREIRE, F.M.; REZENDE, A.M.; NOGUEIRA, F.D. Nutrição mineral, calagem e adubação da soja. **Informe Agropecuário**, v.8, n.94, p.13-20, 1982.
- TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A. **Soja**; nutrição, correção do solo e adubação. Campinas: Fundação Cargill, 1992. 60p.
- TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; REGITANO-D'ARCE, M.A.B.; GALLO, P.B. Concentração e produtividade de óleo e proteína de soja em função da adubação potássica e da calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.4, p.463-469, 1995.

- TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULINASI, E.A. Deficiência de manganês em soja induzida por excesso de calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.2, p.247-250, 1992.
- THORNE, J.C.; FEHR, W.R. Incorporation of high-protein, exotic germoplasm into soybean population by 2- and 3- ways crosses. **Crop Science**, v.10, n.6, p.652-655, 1970.
- THORNE, W. Zinc deficiency and its control. **Advances in Agronomy**, v.9, p.131-165, 1957.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan Publishing Co., 1993. 634p.
- VELLO, N.A. Programa de melhoramento genético da soja para produtividade de óleo desenvolvido na ESALQ/USP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1., Londrina, 1999. **Anais**. Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1999. p.105-111.
- VITTI, G.C. Efeitos de doses de enxofre e de zinco na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cultivada em condições de casa de vegetação. Piracicaba, 1982. 175p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C. Manejo químico do solo para alta produtividade da soja. In: CÂMARA, G.M.S. (Ed.). **Soja: tecnologia da produção**. Piracicaba: ESALQ, 1998. p.84-112.
- YADAVA, U.L. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. **HortScience**, v.21, n.6, p.1449-1450, 1986.

- WEBER, C.P.; MOORTHY, B.R. Heritable and nonheritable relationships and variability of oil content and agronomic characters in the F2 generation of soybean crosses. **Agronomy Journal**, v.44, n.1, p.202-209, 1952.
- WELCH, R.M. Micronutrients nutrition of plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.14, n.1, p.49-82, 1995.
- WHITE, M.C.; CHANEY, R.L.; DECKER, A.M. Differential tolerance in soybean to phytotoxic levels of soil Zn. II. Range of Zn additions and uptake and translocation of Zn, Mn, Fe and P. **Agronomy Journal**, v.77, p.126-131, 1979.
- ZIMBACK, L.E.D. Cruzamentos em cadeia entre genótipos adaptados e exóticos de soja com ênfase na produção de óleo. Piracicaba, 1992. 178p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

APÊNDICE - 1

Análise de variância dos dados de produção de matéria seca de folhas, caule, pericarpo, raízes, grãos e total (g/vaso) de soja.

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Folha	Caule	Pericarpo	Raízes	Grãos	Total
Cultivar (a)	3	216,6727**	85,0193**	1,8650**	6,0056**	26,7291**	997,8324**
Magnésio (b)	1	0,0682 ^{NS}	96,1800**	77,8320**	6,8533**	333,4623**	1581,5318**
Zinco (c)	3	52,7836**	22,9127**	10,6618**	1,1353**	51,0220**	536,9907**
a x b	3	10,3083**	6,4664**	1,1338**	0,3709 ^{NS}	8,4681**	19,9454 ^{NS}
a x c	9	4,7788**	1,1782 ^{NS}	1,1713**	0,3364 ^{NS}	10,7510**	23,5007**
b x c	3	7,7613**	2,7615 ^{NS}	3,6280**	0,1649 ^{NS}	18,2554**	99,7005**
a x b x c	9	8,0615**	5,6407**	0,9760**	0,6788**	3,4572**	35,6707**
Resíduo	64	1,4432	1,1866	0,2530	0,1748	1,2191	8,5638
CV (%)		14,135	14,917	16,943	17,931	15,725	10,406

Quadrado Médio							
Cultivar (a)	3	118,9743**	81,048**	3,6384**	18,3035**	29,2969**	752,6096**
Magnésio (b)	1	58,7188**	65,093**	53,5957**	16,2279**	177,8337**	629,7593**
Manganês (c)	3	79,0624**	44,123**	11,9382**	11,9724**	54,9892**	873,8701**
a x b	3	33,4438**	6,598**	0,9714**	0,1179 ^{NS}	9,7240**	82,2816**
a x c	9	4,3096**	3,856**	2,5246**	0,8895**	6,7668**	31,4438**
b x c	3	29,7629**	9,311**	2,6686**	1,6902**	8,6074**	125,0423**
a x b x c	9	7,2831**	3,208**	0,7066**	0,1949 ^{NS}	1,5382**	12,2101**
Resíduo	64	1,0322	0,626	0,0861	0,1012	0,4373	3,6419
CV (%)		11,979	13,051	11,246	17,571	13,705	8,025

* e ** significativo pelo teste F de $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente.

^{NS} não significativo.

APÊNDICE - 2

Análise de variância dos teores dos macronutrientes (g kg^{-1}) nas folhas diagnóstico.

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
Cultivar (a)	3	547,2771**	8,5189**	151,7297**	119,5799**	15,8459**	7,6013**
Magnésio (b)	1	316,1007**	4,4893**	178,3235**	181,4175**	174,5283**	6,5417**
Zinco (c)	3	68,6780**	3,9227**	8,2814 ^{NS}	157,4677**	4,9917**	1,5324**
a x b	3	236,5403**	1,0267 ^{NS}	69,3441**	89,7157**	2,9494**	0,3589 ^{NS}
a x c	9	47,4368**	1,7434**	20,1917**	61,4889**	2,2985**	0,4098 ^{NS}
b x c	3	76,2361**	3,7967**	35,0396**	58,3330**	6,3052**	0,1935 ^{NS}
a x b x c	9	46,9485**	2,9626**	5,2931 ^{NS}	13,9730 ^{NS}	2,8518**	0,1485 ^{NS}
Resíduo	64	3,0010	0,5179	5,7011	6,9684	0,5772	0,2318
CV (%)		6,480	16,60	13,763	25,565	22,009	16,692

		Quadrado Médio					
Cultivar (a)	3	279,2573**	4,0991**	70,0187**	438,4997**	5,9287**	0,0512*
Magnésio (b)	1	187,4317**	0,0698 ^{NS}	79,5708*	368,9116**	169,3891**	1,5555**
Manganês (c)	3	42,8827**	0,4922**	111,3038**	72,5884**	2,8292**	0,0430*
a x b	3	108,2285**	0,4863**	26,5763 ^{NS}	40,9196**	0,7279*	0,0683**
a x c	9	27,1683**	0,0302 ^{NS}	30,8395*	54,2772**	0,6525**	0,0331*
b x c	3	49,0068**	0,0696*	28,2685 ^{NS}	49,4878**	0,6108*	0,0387*
a x b x c	9	29,5646**	0,1061**	21,2293 ^{NS}	61,8221**	0,6751**	0,0093 ^{NS}
Resíduo	64	1,2930	0,0205	14,3922	7,4738	0,2009	0,0141
CV (%)		6,272	8,519	15,127	24,263	15,835	9,071

* e ** significativo pelo teste F de $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente.

^{NS} não significativo.

APÊNDICE - 3

Análise de variância dos dados de micronutrientes (mg kg⁻¹) nas folhas diagnóstico.

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio				
		Cobre	Ferro	Manganês	Níquel	Zinco
Cultivar (a)	3	33,1151**	16216,1484**	818,0866**	0,1194 ^{NS}	1907,6457**
Magnésio (b)	1	0,0968 ^{NS}	5596,2834 ^{NS}	1772,8007**	0,0490 ^{NS}	2706,9357**
Zinco (c)	3	2,8212 ^{NS}	41120,1440**	1038,6748**	0,6021*	14457,3346**
a x b	3	1,5986 ^{NS}	10015,3378 ^{NS}	284,1172**	0,2576 ^{NS}	632,9228**
a x c	9	5,7462**	24828,6526**	454,2572**	0,2626 ^{NS}	754,1194**
b x c	3	1,9938 ^{NS}	15723,4062*	217,1869**	0,3318 ^{NS}	1880,8314**
a x b x c	9	2,6034 ^{NS}	10644,6575 ^{NS}	181,3916**	0,8622**	190,0120**
Resíduo	64	1,5695	5359,6092	52,2407	0,1531	98,9703
CV (%)		15,767	21,909	21,344	25,321	19,488

		Quadrado Médio				
Cultivar (a)	3	32,3445**	4505,6459**	2565,4648**	0,2457 ^{NS}	1050,2644**
Magnésio (b)	1	3,4999 ^{NS}	2090,8556*	4396,5738**	0,2816 ^{NS}	6011,2824**
Manganês (c)	3	16,8229**	535,1056 ^{NS}	11280,6401**	0,8326**	5209,8172**
a x b	3	17,5682**	425,0616 ^{NS}	1471,1754**	0,2975 ^{NS}	1457,7562**
a x c	9	5,9955 ^{NS}	2489,5633**	377,72**	0,3342*	459,5377**
b x c	3	12,5652*	2526,2172**	574,0229**	0,3383 ^{NS}	474,7909**
a x b x c	9	4,5194 ^{NS}	2301,4804**	522,8279**	0,8660**	794,4635**
Resíduo	64	3,4698	364,3908	67,3394	0,1555	97,3812
CV (%)		25,034	18,977	29,435	23,931	15,551

* e ** significativo pelo teste F de $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente.

^{NS} não significativo.

APÊNDICE - 4

Análise de variância dos teores magnésio, zinco e manganês contidos nas diversas partes da planta.

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio							
		Folha	Caule	Pericarpo	Raízes	Folha	Caule	Pericarpo	Raízes
		Mg				Zn (1ª análise de variância) e Mn (2ª análise de variância)			
Cultivar (a)	3	2,9350**	2,7158**	1,2817**	0,2570**	2782,5972**	479,8435**	388,5937**	466,8437**
Magnésio (b)	1	337,1251**	184,8427**	321,2017**	1,5631**	2562,6667**	2194,5937**	3003,8437**	142,5937**
Zinco (c)	3	5,9231**	0,9607**	0,5567**	0,0679**	16387,5139**	5847,3437**	4009,6437**	2397,0937**
a x b	3	1,7784**	1,1864**	1,4031**	0,1444**	90,5556*	236,8437**	13,0938 ^{NS}	924,9938**
a x c	9	0,3083**	0,5706**	0,5310**	0,1088**	623,5509**	108,9271**	22,5104**	244,5937**
b x c	3	1,4086**	0,6549**	0,5837**	0,2046**	339,9722**	681,3437**	951,0937**	88,3438**
a x b x c	9	0,7354**	0,2793**	0,5467**	0,0698**	122,0093**	111,5937**	47,3438**	505,3437**
Resíduo	64	0,0193	0,0111	0,0305	0,0081	30,5833	9,2187	7,4687	11,9687
CV (%)		4,638	8,976	7,721	19,72	9,477	11,129	13,729	13,387

Quadrado Médio									
Cultivar (a)	3	1,1327**	18,3994**	34,5315**	0,7469**	1301,2639**	16,7500**	271,2604**	1407,7049**
Magnésio (b)	1	594,0149**	190,9704**	277,9502**	14,8837**	3876,0417**	864,0000**	2635,5104**	1794,0104**
Manganês (c)	3	0,2739**	2,7759**	0,2465**	0,3175**	8975,5139**	825,5000**	4108,6771**	1526,2049**
a x b	3	0,3067**	16,6173**	43,0134**	0,2831**	591,2639**	8,7500*	9,1771 ^{NS}	58,3993**
a x c	9	1,1486**	1,5556**	0,0792**	0,1969**	90,9954**	23,0833**	159,1215**	199,6123**
b x c	3	1,3784**	0,7562**	0,2509**	0,1762**	1067,6805**	196,0000**	506,7604**	126,2326**
a x b x c	9	0,5392**	0,7914**	0,1148**	0,1697**	146,9398**	7,0833**	76,4271**	157,1030**
Resíduo	64	0,0368	0,0222	0,0268	0,0200	10,9271	2,5625	4,8854	5,6771
CV (%)		5,641	6,306	4,916	17,142	12,234	16,210	13,090	14,251

* e ** significativo pelo teste F de $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente.

^{NS} não significativo.

APÊNDICE - 5

Análise de variância dos dados dos teores de óleo e proteína (%) e as suas respectivas produtividades (g/planta).

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio			
		Óleo	Produtividade de óleo	Proteína	Prod. de Proteína
Cultivar (a)	3	21,0452**	1,2958**	180,6122**	2,2191**
Magnésio (b)	1	20,5172**	14,4460**	131,4369**	19,3142**
Zinco (c)	3	45,2536**	2,7469**	91,3829**	3,1477**
a x b	3	2,4239*	0,3476**	32,8371**	1,3793**
a x c	9	2,1359**	0,4083**	8,5119*	1,0116**
b x c	3	0,8873 ^{NS}	0,8950**	8,6850 ^{NS}	1,2948**
a x b x c	9	2,3802**	0,1597**	16,8549**	0,2872**
Resíduo	64	0,6545	0,0562	4,0145	0,1365
CV (%)		8,387	17,840	6,800	18,314

Quadrado Médio					
Cultivar (a)	3	22,0889*	1,6219**	257,6486**	1,2034**
Magnésio (b)	1	142,6668**	19,5121**	61,6321*	24,6341**
Manganês (c)	3	21,3141*	2,1603**	132,8030**	2,4522**
a x b	3	18,9423*	0,6889**	102,5795**	1,0176**
a x c	9	24,4958**	0,4631**	24,2972*	1,3654**
b x c	3	28,0928**	1,5006**	51,9609**	2,5590**
a x b x c	9	13,3704*	0,0777*	42,5563**	0,1957 ^{NS}
Resíduo	64	6,1731	0,0757	11,6398	0,1464
CV (%)		13,243	20,298	11,355	18,637

* e ** significativo pelo teste F de $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente.

^{NS} não significativo.

APÊNDICE - 6

Análise de variância dos dados de macronutrientes (g kg^{-1}) nos grãos.

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio				
		Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
Cultivar (a)	3	1,3166**	3,8418 ^{NS}	17,1543**	8,1207**	0,0946**
Magnésio (b)	1	0,1283**	1,0422 ^{NS}	28,4381**	20,1575**	0,0008 ^{NS}
Zinco (c)	3	0,0290 ^{NS}	1,8685 ^{NS}	0,3739**	0,3094**	0,0011 ^{NS}
a x b	3	0,1755**	3,5882 ^{NS}	6,4052**	2,5490**	0,0141 ^{NS}
a x c	9	0,0359*	2,4772 ^{NS}	1,4977**	0,2909**	0,0012 ^{NS}
b x c	3	0,0064NS	3,0281 ^{NS}	1,0202**	0,0802**	0,0009 ^{NS}
a x b x c	9	0,0099NS	2,0906 ^{NS}	1,0453**	0,3133**	0,0020 ^{NS}
Resíduo	64	0,0139	1,9526	0,0453	0,0190	0,0083
CV (%)		10,699	9,492	12,606	14,339	9,864

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio				
		Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
Cultivar (a)	3	0,0981**	22,3171*	2,9677**	0,1257*	0,1166**
Magnésio (b)	1	0,0260 ^{NS}	0,0104 ^{NS}	4,9731**	4,9959**	0,1873**
Manganês (c)	3	0,0358 ^{NS}	45,2904**	0,7826**	0,4731**	0,0481*
a x b	3	0,0913 ^{NS}	12,5104 ^{NS}	3,2771**	0,3753**	0,0619 ^{NS}
a x c	9	0,0347*	20,3393**	0,8421**	0,0985**	0,0425*
b x c	3	0,1197**	26,0970*	3,4631**	0,0870 ^{NS}	0,0319 ^{NS}
a x b x c	9	0,0448**	26,6593**	0,8341**	0,1519**	0,0525**
Resíduo	64	0,0159	6,8419	0,0924	0,0323	0,0166
CV (%)		12,448	15,779	17,445	11,141	12,083

* e ** significativo pelo teste F de $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente.

^{NS} não significativo.

APÊNDICE - 7

Análise de variância dos dados de micronutrientes (mg kg⁻¹) nos grãos.

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio				
		Cobre	Ferro	Manganês	Níquel	Zinco
Cultivar (a)	3	240,4271**	450,5382 ^{NS}	277,8715**	0,9998**	189,3431**
Magnésio (b)	1	137,7604**	499,5938 ^{NS}	3325,2604**	4,5509**	225,0931**
Zinco (c)	3	6,9271 ^{NS}	5,730,5382**	98,7049**	0,3167**	5015,8437**
a x b	3	13,0937*	409,1215 ^{NS}	203,4549**	1,9737**	81,8438**
a x c	9	1,6493 ^{NS}	845,9178 ^{NS}	125,5845**	0,8391**	66,2604**
b x c	3	18,2049**	561,4548 ^{NS}	279,2882**	1,1840**	71,3437*
a x b x c	9	9,5382**	446,0567 ^{NS}	133,4456**	0,4946**	72,4271**
Resíduo	64	3,4688	604,2083	11,5312	0,0133	17,8750
CV (%)		17,275	17,640	16,373	5,771	10,628

		Quadrado Médio				
Cultivar (a)	3	83,1215**	3145,5382**	239,9549**	1,8351**	1407,3715**
Magnésio (b)	1	1,2604 ^{NS}	319,0104 ^{NS}	1020,5104**	3,4884**	1971,0937**
Manganês (c)	3	7,9549 ^{NS}	1713,4549*	1633,3715**	0,3795**	8,9271 ^{NS}
a x b	3	16,4549**	1016,1493 ^{NS}	44,3993*	1,2118**	541,8160**
a x c	9	15,8160**	1533,6863**	71,1678**	0,3577**	227,6122**
b x c	3	44,5104**	371,6771 ^{NS}	42,7049 ^{NS}	1,4151**	330,2604**
a x b x c	9	15,7419**	615,1122 ^{NS}	34,7789*	0,7025**	319,6493**
Resíduo	64	3,3125	502,5312	16,5521	0,779	47,4792
CV (%)		14,820	17,911	29,388	16,330	11,751

* e ** significativo pelo teste F de p < 0,05 e p < 0,01, respectivamente.

^{NS} não significativo.

APÊNDICE - 8

Análise de variância da absorção de Zn e Mn por raízes destacadas e das transformadas de Lineweaver & Burk e Hofstee .

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio								
		Lineweaver & Burk				G.L.	Abs de Zn/g de MS			
		IAC 15-1	IAC 17	FT Estrela	DM Nobre		IAC 15-1	IAC 17	FT Estrela	DM Nobre
Magnésio (a)	2	2,6377**	5,2764**	9,7337**	2,1850**	2	15,4763**	19,6300**	23,1981**	3,7455**
Zinco (b)	4	27,9798**	25,8163**	13,8969**	10,8284**	5	47,6011**	63,2184**	40,6251**	18,2704**
a x b	8	2,9075**	3,1477**	1,6727**	0,2784**	10	3,0940**	3,6633**	3,6067**	0,6455**
Resíduo	30	2,4122	3,4281	0,5226	0,0290	36	0,1629	0,1519	0,2385	0,0655
CV (%)		28,077	37,288	54,361	13,055		19,426	16,281	24,992	18,817
		Mg	Hofstee							
		mM	IAC 15-1	IAC 17		FT Estrela	DM Nobre			
Regressão	1	1,0	45,0805*	109,2852**		11,1509 ^{NS}	29,8819**			
Resíduo	13	3,0	8,5454*	4,3548 ^{NS}		6,5969 ^{NS}	11,6769**			
		6,0	8,6566*	14,2490*		6,6076 ^{NS}	9,3114**			

Fontes de variação	G.L.	Quadrado Médio								
		Lineweaver & Burk				G.L.	Abs de Mn/g de MS			
		IAC 15-1	IAC 17	FT Estrela	DM Nobre		IAC 15-1	IAC 17	FT Estrela	DM Nobre
Magnésio (a)	2	5,5765**	64,0294**	640,7371**	557,4248**	2	0,0004 ^{NS}	0,2359**	0,1685**	0,4557**
Manganês (b)	4	38,0253**	265,0247**	1290,6405**	802,7990**	5	2,1932**	1,3142**	0,4319**	0,7881**
a x b	8	3,4970**	14,3176*	137,3339**	54,0065*	10	0,0146 ^{NS}	0,0817**	0,0341**	0,1265**
Resíduo	30	0,8809	4,7469	5,4669	19,7557	36	0,0444	0,0125	0,0013	0,0011
CV (%)		33,811	36,724	18,975	41,070		40,253	32,243	18,339	13,470
		Mg	Hofstee							
		mM	IAC 15-1	IAC 17		FT Estrela	DM Nobre			
Regressão	1	1,0	0,9938*	2,3454 ^{NS}		0,8541**	0,0276 ^{NS}			
Resíduo	13	3,0	0,6164*	0,0856 ^{NS}		0,0098 ^{NS}	0,0299 ^{NS}			
		6,0	0,9042*	0,1555*		0,0645*	0,1207*			

* e ** significativo pelo teste F de $p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente.
^{NS} não significativo.

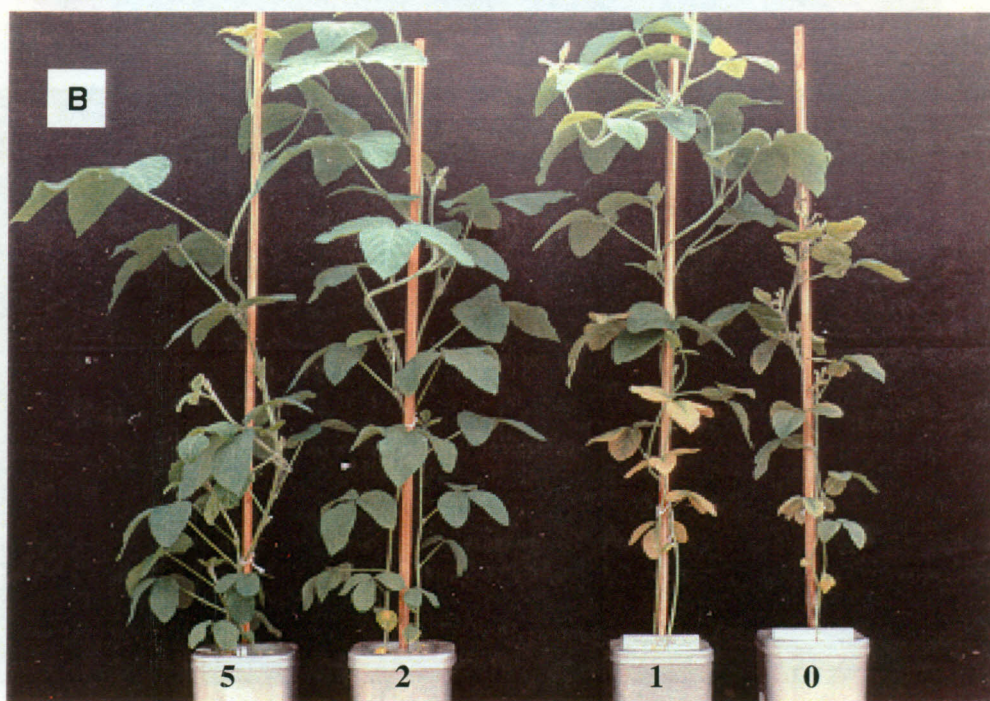
APÊNDICE - 9

Matéria seca da soma do 3^o e 4^o trifólio sem o pecíolo, dos experimentos de Mg e Mn¹ e de Mg e Zn².

Tratamentos	Cultivares							
	IAC 15-1		IAC 17		FT Estrela		DM Nobre	
	Mn ¹	Zn ²	Mn ¹	Zn ²	Mn ¹	Zn ²	Mn ¹	Zn ²
	----- gramas -----							
1:1	0,85	0,63*	0,54*	0,52*	0,60*	0,53*	0,40*	0,93
1:2	1,05	0,37*	0,53*	1,11	0,46*	1,04	0,30*	1,02
1:3	0,44*	1,14	0,38*	0,61*	0,48	0,80	0,35*	0,43*
2:1	1,42	0,94	0,66	1,31	0,67	0,43*	1,20	0,62*
2:2	1,15	0,46*	1,05	0,77	0,86	0,73	1,17	1,03
2:3	1,09	0,54*	0,98	0,65	0,81	0,48*	1,14	1,03
3:1	0,46*	0,67	0,56*	0,87	0,32*	0,82	0,60*	0,79
3:2	0,41*	0,79	0,40*	0,76	1,10	0,99	0,93	0,39*
3:3	0,70	0,62*	0,52*	0,79	0,90	0,97	0,58*	0,47*
4:1	0,96	0,66	0,54*	0,48	0,48*	0,54*	1,15	0,40*
4:2	1,33	0,48*	1,21	1,22	0,63*	0,46	1,14	0,41*
4:3	0,31*	0,31*	0,93	0,94	0,53*	0,54*	0,52*	0,45*
5:1	0,40*	1,14	0,37*	1,04	0,51*	0,76	0,83	0,46*
5:2	0,73	0,85	0,40*	1,01	0,39*	0,95	0,51*	0,93
5:3	0,31*	1,12	0,36*	0,90	0,55*	1,05	0,91	1,33
6:1	0,74	0,71	1,11	1,02	0,65	0,85	10,6	0,82
6:2	0,89	0,75	1,03	0,87	0,74	0,96	1,00	0,33*
6:3	0,97	0,62	0,39*	1,25	0,35*	0,91	0,96	0,95
7:1	0,49*	0,92	1,23	0,91	0,82	0,52	0,44*	0,76
7:2	0,87	0,76	0,83	1,34	1,06	0,87	0,42*	0,92
7:3	0,62*	1,13	0,89	0,78	0,97	0,73	0,97	0,47*
8:1	0,41*	0,51*	0,46*	0,84	0,37*	1,03	0,85	1,44
8:2	0,90	0,50*	0,72	1,44	0,68	0,86	0,58*	0,66
8:3	0,94	0,73	0,52**	0,94	0,31*	0,78	1,09	0,48*

* extrato nitroperclórico feito com 0,25 gramas de matéria seca.

APÊNDICE - 10

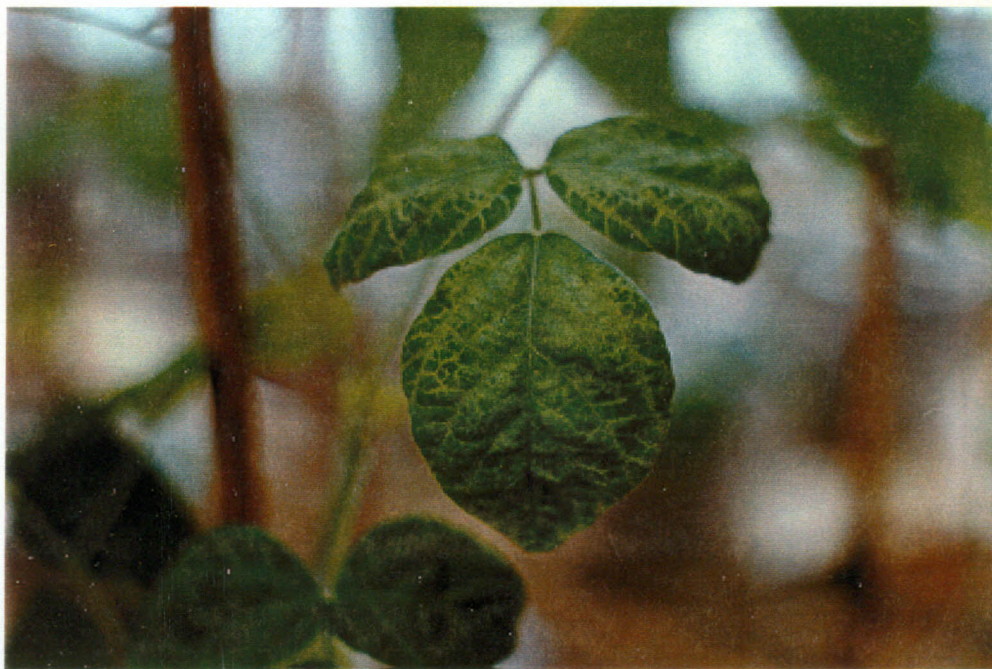


A) Vista geral do experimento; **B)** Efeito das doses de zinco (μM) com 0,1 mM de Mg

APÊNDICE - 11



Sintomas de deficiência de magnésio

APÊNDICE - 12**Sintomas de toxidez de manganês**

APÊNDICE - 13

Sintomas de deficiência de manganês