

EFEITO DO ^{59}Fe E DO ^{65}Zn NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. CARIOCA E NA FIXAÇÃO DE NITROGÊNIO ATMOSFÉRICO, EM TRÊS SOLOS

ALLERT ROSA SUHET
Engenheiro Agrônomo

Orientador: PROF. DR. ANDRE MARTIN LOUIS NEPTUNE

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Setembro, 1976

OFEREÇO

ao Prof. Dr. André Martin Louis Neptune

DEDICO

à minha esposa

e à minha filha

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. André Martin Louis Neptune, pela orientação.

Aos colegas Takashi Muraoka e Carlos C. Cerri, da Seção de Fertilizantes e Fertilidade do Solo do Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

Aos professores Virgílio Franco do Nascimento Filho e Epaminondas Sansigolo de Barros Ferraz, da Seção de Instrumentação e Controle da Divisão de Ciências Básicas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

Aos funcionários João Odemir Salvador, Alcides de Araujo, Osmar Ferraz de Paula, Marileuza Aparecida Bassi, Rudnei Almeida Romani, Sandra Maria Genaro e Clarice Matraia, da Seção de Fertilizantes e Fertilidade do Solo do Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

Aos funcionários José Osorio Bertoli, Iolanda Aparecida Rufini e Maria Valeria Segato Lopes, da Divisão de Ciências Básicas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

À Dra. Alaidés Puppim Ruschel e ao funcionário José Renato Freitas, da Seção de Microbiologia do Solo do Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

Ao Dr. Luis Hernan Rodriguez Castro, Ph.D. em Estatística, Pesquisador do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e ao Mauricio Breternitz, acadêmico de Engenharia.

Ao Dr. Wenceslau J. Goedert, Chefe Adjunto Técnico do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

À Sra. Ana Maria Monteiro dos Reis, pelo trabalho cuidadoso de datilografia.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura e ao Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, pelos recursos financeiros.

À Seção de Fertilizantes e Fertilidade do Solo do Centro de Energia Nuclear na Agricultura em cujas dependências foi desenvolvida a maior parte deste trabalho.

A todos os demais que de alguma maneira, igualmente valiosa, contribuíram para a realização deste trabalho.

Finalmente, e principalmente, a Deus que me permitiu reunir todas as condições necessárias para a execução deste trabalho.

ÍNDICE

	Página
LISTA DAS TABELAS.....	VI
LISTA DAS FIGURAS.....	VIII
1. RESUMO.....	1
2. INTRODUÇÃO.....	4
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	9
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4.1. Solos utilizados e análises químicas.....	12
4.2. Esquema experimental.....	13
4.3. Instalação do experimento.....	14
4.4. Condução do experimento.....	17
4.5. Colheita do experimento.....	17
4.6. Estudo da fixação do nitrogênio atmosférico.....	18
4.7. Análise química das plantas.....	19
4.8. Detecção das radiações.....	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5.1. Efeito das unidades de solo.....	26
5.1.1. Efeito na produção de matéria seca.....	27
5.1.2. Efeito na formação de nódulos e na fixação de nitro gênio atmosférico.....	28
5.1.3. Efeito na concentração de nitrogênio.....	29
5.1.4. Efeito na concentração de fósforo.....	29

	Página
5.1.5. Efeito na concentração de potássio.....	30
5.1.6. Efeito na concentração de cálcio.....	30
5.1.7. Efeito na concentração de magnésio.....	31
5.1.8. Efeito na concentração de ferro.....	31
5.1.9. Efeito na concentração e na absorção de zinco.....	32
5.2. Efeito dos tratamentos.....	34
5.2.1. Efeito na produção de matéria seca e na formação de nódulos.....	34
5.2.2. Efeito na fixação de nitrogênio atmosférico e na concentração de nitrogênio.....	36
5.2.3. Efeito na concentração de fósforo.....	37
5.2.4. Efeito na concentração de potássio.....	37
5.2.5. Efeito na concentração de cálcio.....	38
5.2.6. Efeito na concentração de magnésio.....	39
5.2.7. Efeito na concentração de ferro.....	39
5.2.8. Efeito na concentração e na absorção de zinco.....	40
6. CONCLUSÕES.....	45
7. SUMMARY.....	47
8. LITERATURA CITADA.....	50

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Resultados das análises químicas dos três solos	58
Tabela 2. Relação dos tratamentos e doses dos micronutrientes	58
Tabela 3. Doses (ppm) e fontes dos nutrientes que constituíram a adubação básica.....	59
Tabela 4. Principais características dos radioisótopos ^{59}Fe e ^{65}Zn	59
Tabela 5. Níveis de significância para as fontes de variação, coeficiente de variação (CV) e transformação efetuada nos dados.....	60
Tabela 6. Contrastes definidos para análise de regressão.....	62
Tabela 7. Níveis de significância (%) e sinais dos contrastes obtidos na análise de regressão.....	63
Tabela 8. Peso (g) da parte aérea, raiz e nódulos e número de nódulos.....	65
Tabela 9. Peso (g) de 100 nódulos e nanomoles de etileno evoluído por hora por grama de nódulo e por amostra.....	66
Tabela 10. Concentração (%) de N na parte aérea, raiz e nódulos...	67
Tabela 11. Concentração (%) de P e K na parte aérea e raiz.....	68
Tabela 12. Concentração (%) de Ca e Mg na parte aérea e raiz.....	69
Tabela 13. Concentração (ppm) de Fe e Zn na parte aérea e raiz....	70
Tabela 14. Radioatividade (pCi) do ^{65}Zn por grama de parte aérea	

e de raiz, percentagem do zinco da parte aérea e da
raiz proveniente do adubo e percentagem do zinco do adubo
bo presente na parte aérea, na raiz e na planta inteira 71

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Espectros de energia dos radioisótopos ^{59}Fe e ^{65}Zn nas regiões dos fotopicos.....	73

1. RESUMO

No presente trabalho procuramos estudar os efeitos dos micronutrientes ferro e zinco na produção e composição química do feijoeiro e na fixação do nitrogênio atmosférico, em três solos, classificados como Terra Roxa Estruturada (TRE), Latossol Vermelho Escuro (LVE) e Podzólico Vermelho Amarelo (PVA).

Procuramos também determinar os índices de aproveitamento destes micronutrientes pelo feijoeiro e sua distribuição na parte aérea e na raiz.

Foi conduzido um experimento em casa de vegetação, cujo esquema experimental foi um fatorial 3x7, sendo três solos e sete tratamentos por solo, perfazendo um total de vinte e um tratamentos. Estes tratamentos foram distribuídos em blocos ao acaso, em três repetições.

Os tratamentos foram: Fe₁, Fe₂, Zn₁, Zn₂, Fe₁Zn₁, Fe₂Zn₂ e testemunha. As doses de ferro foram 1,5 e 3,0 ppm e as de zinco foram 2,5 e 5,0 ppm. Foram aplicados 7,5 µCi de ⁵⁹Fe/kg de solo nos vasos correspon

dentes à dose menor de ferro e 5,0 e 10,0 μCi de $^{65}\text{Zn}/\text{kg}$ de solo nos vasos correspondentes respectivamente à dose menor e maior de zinco. Todos os tratamentos receberam uma adubação básica.

Todas as sementes foram inoculadas com *Rhizobium phaseoli*.

As plantas foram colhidas com 60 dias de idade. Imediatamente após a colheita, foi feito o estudo da fixação do nitrogênio atmosférico, utilizando o método da redução do acetileno.

Foi feita a análise química das plantas, determinando a concentração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro e zinco.

A detecção da radioatividade do ^{59}Fe e do ^{65}Zn , foi feita no extrato nítrico-perclórico, por espectrometria gama.

O comportamento do feijoeiro apresentou grande variação entre os três solos, para todas as variáveis.

Não houve influência dos tratamentos de ferro e zinco na produção de parte aérea e raiz e nem no peso e número dos nódulos.

A dose de 3,0 ppm de ferro diminuiu a capacidade dos nódulos de fixarem nitrogênio atmosférico em relação à dose de 1,5 ppm enquanto que a dose de 5,0 ppm de zinco aumentou esta capacidade, em relação à dose de 2,5 ppm.

Houve um efeito significativo dos tratamentos na concentração de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, ferro e zinco na parte

aérea e na concentração de nitrogênio, cálcio e zinco na raiz.

A absorção de zinco do fertilizante e a percentagem do zinco na planta proveniente do adubo foram influenciadas diretamente pelas doses de zinco. O maior coeficiente de aproveitamento do zinco do adubo foi de 4,0%.

2. INTRODUÇÃO

A importância dos micronutrientes na agricultura vem sendo objeto de consideração e pesquisa de longa data. Basta dizer que a essencialidade do ferro foi comprovada no meado do século passado (NEPTUNE MENARD e COURY, 1958). Do início do Século XX até a presente data, as pesquisas com micronutrientes vem se multiplicando ano após ano, sendo realizada uma série de comprovações e descobertas de real interesse para a agricultura. Neste período foi comprovada a essencialidade de manganês (1915), boro (1927), zinco (1928), cobre (1932), molibdênio (1939) e cloro (1957) para as plantas (NEPTUNE MENARD e COURY, 1958). Mais recentemente constatou-se a essencialidade do cobalto para a fixação do nitrogênio atmosférico pelas leguminosas em simbiose com bactérias, conforme citam KUBOTA e ALLAWAY (1972).

Uma vez comprovada a essencialidade dos elementos, os pesquisadores começaram a investigar quais as funções de cada nutriente na planta e em que processos cada um deles interfere. De posse do conhecimento das funções dos nutrientes nas plantas, torna-se mais fácil a interpre

tação das reações das culturas à aplicação de determinado nutriente. Apresentaremos algumas funções do ferro e do zinco nas plantas, visto que o presente trabalho versa sobre estes dois micronutrientes.

O ferro é um componente essencial de uma série de enzimas e de outros compostos. Entre estes podemos citar a catalase, peroxidase, citocromos a, b e c, ferredoxina e hemoglobina (PRICE *et alii*, 1972). Assim, em condições de deficiência de ferro, pode ocorrer uma forte diminuição das oxidações por peróxido de hidrogênio, catalisadas por catalase e peroxidase; pode ocorrer uma diminuição no transporte eletrônico e na fotossíntese pois, os citocromos e a ferredoxina tomam parte nestes processos; pode haver uma diminuição no processo da respiração, do qual participam os citocromos e pode ocorrer uma diminuição da fixação do nitrogênio atmosférico, na qual participam a ferredoxina e a hemoglobina. Possivelmente o ferro tem papel importante na síntese do RNA pois, em cloroplastos deficientes em ferro a concentração do RNA encontrado foi menos da metade em comparação à concentração de RNA em cloroplastos com quantidades normais de ferro (PRICE *et alii*, 1972).

O zinco é um componente essencial de uma série de enzimas. Até pouco tempo atrás, só havia sido identificado na constituição da anidrase carbônica. Atualmente já foi identificado em várias desidrogenases, proteinases e peptidases (PRICE *et alii*, 1972). Estes autores citam outros que constataram que a deficiência de zinco ocasiona um decréscimo no conteúdo de RNA e de ribossoma das células. Em plantas deficientes em zinco, a relação entre o nitrogênio protéico e o nitrogênio solúvel é menor do que em plantas normais, em consequência do menor teor de RNA.

O zinco tem papel importante na síntese de hormônios de crescimento (THORNE, 1957). Apesar de não estar bem esclarecido o papel do zinco, há possibilidade de que seja o ativador da enzima sintetase do triptofano. A síntese do ácido indol acético (AIA) ocorre a partir do triptofano. Quando a planta está deficiente em zinco, esta síntese é prejudicada. Como o AIA governa o crescimento das células em volume, este é, provavelmente, o motivo do encurtamento dos internódios e da formação de uma roseta nas pontas dos galhos das plantas perenes deficientes em zinco.

Com o advento de novas técnicas e métodos mais avançados de trabalho, que vem se tornando rotineiros, os estudos com micronutrientes na nutrição e adubação de plantas vem tomando novos impulsos. Entre outros exemplos podemos citar três, que consideramos de importância relevante. O primeiro é o emprego da espectrofotometria de absorção atômica na determinação das concentrações dos elementos na planta e no solo. Isto permite a caracterização dos estados de deficiência ou de toxidez.

O segundo refere-se ao emprego de radioisótopos. O uso de radioisótopos nas mais variadas pesquisas com micronutrientes como o ferro, cobalto, cobre, manganês e zinco, está cada vez assumindo maiores proporções. Com o emprego dos radioisótopos tem sido possível estudar com mais precisão o comportamento dos nutrientes adicionados aos solos, o aproveitamento destes pela cultura, a distribuição relativa nos diversos órgãos da planta e as interações entre eles.

O terceiro exemplo refere-se ao emprego do método da redução do acetileno nos estudos da fixação do nitrogênio atmosférico. Como é um método relativamente fácil de ser aplicado, tem sido possível estudar

a influência dos micronutrientes no processo de fixação do nitrogênio atmosférico pelas plantas.

Apesar do número de trabalhos com micronutrientes, poucos deles tem sido feitos com o feijoeiro. Esta cultura apresenta importância relevante para o Brasil por ser a principal fonte de proteína vegetal para o povo brasileiro. Não obstante esta importância, o cultivo do feijoeiro, em sua grande maioria, é conduzido num sistema rudimentar de agricultura, proporcionando baixa produtividade em todos os Estados brasileiros. A falta de adubação encontra-se entre as principais causas desta baixa produtividade. Em condições experimentais, com diferentes níveis de adubação, tem-se atingido produções em torno de 3000 kg de feijão por ha (ALMEIDA *et alii*, 1972). A produtividade brasileira, entretanto, está em torno de 600 kg de feijão por hectare.

Por ser uma cultura tão importante, é grande o interesse dos pesquisadores em aumentar a produtividade do feijoeiro. Neste sentido tem sido conduzida uma série de trabalhos utilizando principalmente os macronutrientes. Entretanto as respostas não tem sido muito consistentes (ALMEIDA *et alii*, 1972; MALAVOLTA, 1972). A maioria das respostas positivas em uma série de experimentos no Estado de São Paulo foi devida ao fósforo. Em alguns casos o efeito do potássio foi depressivo.

No presente trabalho procuramos estudar os efeitos dos micronutrientes ferro e zinco na produção e composição química do feijoeiro e na fixação do nitrogênio atmosférico, em três solos, classificados como Terra Roxa Estruturada (TRE), Latossol Vermelho Escuro (LVE) e Podzólico Vermelho Amarelo (PVA). Procuramos também determinar os índices de apro

veitamento destes micronutrientes pelo feijoeiro e sua distribuição na parte aérea e na raiz.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Poucos trabalhos tem sido feito mostrando o efeito do ferro e do zinco sobre o feijoeiro. Para outras culturas, entretanto, há um bom número de trabalhos mostrando respostas significativas à adição destes mi micronutrientes ao solo (SHAW *et alii*, 1954; MATHERS, 1970; WARNOCK, 1970; SCHNAPPINGER *et alii*, 1972; LOPEZ e GRAHAM, 1973; OSINAME *et alii*, 1973; JACKSON e CARTER, 1976). Por estes trabalhos, verifica-se que há uma série de fatores que influem na absorção e transporte do ferro e do zinco. Um destes fatores, que tem despertado muito interesse, é a relação destes micronutrientes com o fósforo. De acordo com CHER e DAVIDSON (1955), o fosfato pode catalisar a oxidação do ferro ferroso a férrico, com o qual forma precipitado, dificultando a absorção do ferro e o seu transporte na planta. Esta formação de precipitado foi constatada por BROWN (1972) em solução nutritiva. MIKESSELL *et alii* (1973) e KASHIRAD e MARSCHNER (1974) verificaram que plantas com menor concentração de fósforo em seus tecidos, tiveram maior capacidade de utilização do ferro.

WARNOCK (1970) verificou que a aplicação do fósforo em dose

alta e do zinco em dose baixa, ocasionou uma deficiência de zinco induzida pelo fósforo. WALLACE *et alii* (1973) verificaram que quando o teor de zinco na solução era baixo, à medida que aumentavam as doses de fósforo, ocorria uma diminuição na absorção do zinco e um aumento na relação entre o zinco da raiz e o da folha de plantas de feijoeiro. Entretanto, a um alto teor de zinco na solução, à medida que aumentavam as doses de fósforo, havia um aumento na quantidade de zinco absorvido, sem alteração na relação entre o zinco da raiz e o zinco da folha. Deste trabalho pode-se concluir que quando o zinco estiver presente num baixo teor, a adição de fósforo pode conduzir a uma deficiência de zinco. Quando porém, o zinco estiver presente num alto teor, a adição de fósforo pode conduzir a uma toxidez de zinco.

Outro fator que tem chamado a atenção, é a relação destes micronutrientes com o pH do meio. A disponibilidade destes nutrientes diminui à medida que se eleva o pH. MATHERS (1970) verificou que a redução do pH, pela adição do ácido sulfúrico, tornou o ferro do solo e do adubo mais disponível para a planta. PAULI *et alii* (1968) verificaram que a elevação do pH pela adição de carbonato de cálcio, reduziu severamente a absorção do zinco por plantas de feijoeiro. MELTON *et alii* (1970) chamaram a atenção para a possibilidade da aplicação de zinco em solos ácidos, conduzir a uma toxidez deste nutriente. Por outro lado, a calagem destes solos pode conduzir a uma deficiência de zinco.

Existem outros trabalhos empregando o ferro e o zinco no feijoeiro, cujos objetivos diferem daqueles do presente trabalho. Assim, encontramos os trabalhos de JEFFREYS *et alii* (1961) e WALLACE e MULLER

(1969) que estudaram a influência da adição de agentes quelantes, sobre a absorção e transporte destes dois micronutrientes; de RASMUSSEM e BOAWN (1969) que estudaram a aplicação de zinco através do tratamento de sementes; de DeREMÉR e SMITH (1964) que estudaram a influência da decomposição da matéria orgânica no zinco disponível do solo, medindo o efeito na produção do feijoeiro e de AMBLER e BROWN (1969) que estudaram a variação de respostas das variedades de feijoeiro à aplicação de zinco.

Finalmente, não existem ainda trabalhos estudando a influência do ferro e do zinco na fixação de nitrogênio atmosférico pelo feijoeiro.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Solos utilizados e análises químicas

Foram utilizados três solos classificados como Terra Roxa Estruturada (TRE), Latossol Vermelho Escuro fase arenosa (LVE) e Podzólico Vermelho Amarelo (PVA). Estes solos foram coletados nos Municípios de Piracicaba (SP), Capão Bonito (SP) e Juparanã (RJ), respectivamente.

Foram feitas as análises químicas destes solos, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1. A determinação do ferro e do zinco foi feita seguindo o método descrito por SORENSEN *et alii* (1971). Foram pesadas 5 g de solo e feita a extração com 25 ml de solução 0,1 N de HCl. O tempo de agitação foi de 30 minutos. As demais determinações foram feitas seguindo os métodos descritos por VETTORI (1969).

4.2. Esquema experimental

O esquema experimental foi um fatorial 3x7, sendo três solos e sete tratamentos por solo, perfazendo um total de vinte e um tratamentos. Estes tratamentos foram distribuídos em blocos ao acaso, em três repetições. A relação dos sete tratamentos e das doses dos nutrientes encontram-se na Tabela 2.

Como pode ser observado pela Tabela 2, os tratamentos consistiram de dois níveis (1 e 2) de ferro, dois níveis (1 e 2) de zinco, duas combinações entre os dois micronutrientes e um tratamento testemunha. Estes micronutrientes foram aplicados nas formas estável e radioativa, à exceção do ferro no nível 2, que foi aplicado apenas na forma estável, porque não dispúnhamos de ferro radioativo em quantidade suficiente. A fonte de ferro foi o cloreto e a de zinco foi o sulfato. As doses correspondentes ao nível 1 destes micronutrientes foram: 1,5 ppm de ferro estável e 7,5 μCi de ^{59}Fe /kg de solo e 2,5 ppm de zinco estável e 5,0 μCi de ^{65}Zn por kg de solo.

Na Tabela 3 encontra-se a relação dos nutrientes que constituíram a adubação básica e as doses e fontes respectivas. As doses dos macronutrientes variaram conforme o resultado da análise química dos solos.

4.3. Instalação do experimento

O experimento foi instalado em casa de vegetação.

A cultura usada foi o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Carioca.

Com a finalidade de facilitar a instalação do experimento, foi preparada uma solução contendo ferro estável e radioativo; uma solução contendo apenas ferro estável e uma solução contendo zinco estável e radioativo. As concentrações e radioatividades destas soluções foram calculadas de modo a permitir a adição de 30 ml das soluções de ferro por vaso correspondente aos tratamentos; 30 ml da solução de zinco por vaso correspondente aos tratamentos de zinco no nível 1 e 60 ml desta solução por vaso correspondente aos tratamentos de zinco no nível 2.

O preparo das soluções contendo material radioativo foi feito tomando-se medidas especiais de proteção. Estas soluções foram mantidas constantemente dentro de um "castelo" de tijolos de ferro de 10 cm de espessura para reduzir o nível de exposição à radiação. O controle do nível de exposição foi feito com um Monitor Philips PW 4012/01 com detector Geiger Muller 18505.

Foram preparadas três soluções contendo os nutrientes da adubação básica (Tabela 3): uma com nitrogênio e fósforo para ser aplicada nos vasos que continham o solo TRE; uma com nitrogênio, fósforo e potássio para ser aplicada nos demais vasos e outra com os micronutrientes para ser aplicada em todos os vasos. As concentrações destas soluções fo-

ram calculadas de modo a adicionar 100 ml de solução de macronutrientes e 5 ml de solução de micronutrientes por vaso. A vidraria utilizada no preparo destas soluções e em todas as demais etapas do experimento foi lavada criteriosamente, fazendo-se lavagens sucessivas com: água de torneira, solução diluída de detergente marca comercial ODD, água destilada, solução de HCl 1 + 4, água deionizada, solução de EDTA-NH₃ a 10% e pH 8 e por fim, água deionizada. Toda a água utilizada em qualquer etapa do experimento foi destilada e deionizada.

Foram utilizados vasos de barro com capacidade de 5 litros. A parte interna destes vasos foi pintada com neutrol, visando impermeabilizá-los, a fim de evitar a absorção pela planta, de micronutrientes que poderiam estar presentes no barro dos vasos. Foi colocado 1 litro de sílica de diâmetro variável entre 3 e 5 mm, no fundo de cada vaso e um tubo de PVC de 50 cm de comprimento e 1,91 cm (3/4 da polegada) de diâmetro, encostado nesta sílica e em posição vertical. A sílica e o tubo foram utilizados na irrigação das plantas.

Os solos foram destorroados, passados em peneira e homogeneizados. Posteriormente foram adicionados 4 kg de solo por vaso. Após a pesagem, o solo de cada vaso foi dividido em quatro porções de aproximadamente 1 kg. Estas porções de solo foram adicionadas alternadamente com um terço do volume total das soluções de micronutrientes correspondentes aos tratamentos.

As soluções contendo os micronutrientes ferro e zinco nas formas estáveis e radioativas, foram medidas em pipetas de precisão. Como medida de proteção foram usadas luvas e propipetas para trabalhar com as

soluções radioativas. O volume total destas soluções adicionado por vaso, foi dividido em três alíquotas e estas foram adicionadas aos vasos alternadamente com os solos, sendo espalhadas por toda a superfície do solo. Este procedimento teve como finalidade promover uma melhor distribuição dos nutrientes no solo. Foi colocada uma etiqueta própria indicando a presença de material radioativo, em cada vaso que recebeu o ferro ou o zinco na forma radioativa.

Foi feita a adubação básica adicionando em cada vaso 100 ml da solução dos macronutrientes e 5 ml da solução dos micronutrientes (após diluição em aproximadamente 200 ml de água deionizada). Metade da solução de macronutrientes foi adicionada à superfície do solo. A outra metade e a solução de micronutrientes foram adicionadas pelo tubo de PVC. Após a adubação básica, foi adicionado água pelo tubo de PVC, em quantidade suficiente para umedecer o solo até a superfície.

Apesar dos três solos apresentarem necessidade de calagem, esta não foi feita a fim de não alterar a disponibilidade dos micronutrientes ferro e zinco dos solos.

Todas as sementes foram inoculadas com a mistura das estirpes 127 K-14 e 127 K-17 de *Rhizobium phaseoli*.

Foi feita a semeadura colocando seis sementes por vaso, sendo cobertas por uma fina camada de solo.

4.4. Condução do experimento

Durante todo o período experimental foi adicionada água pela manhã e à tarde através do tubo de PVC.

Dez dias após a emergência foi feito o desbaste deixando três plantas por vaso.

Houve a ocorrência de ácaros e trips, que foram combatidos imediatamente com Neorom (0,1%) e Folidol (0,1%), respectivamente, de modo que não chegaram a causar danos às plantas.

À medida que as folhas foram amadurecendo, foram sendo coletadas e guardadas em sacos de papel.

4.5. Colheita do experimento

Com 60 dias de idade as plantas foram colhidas. A parte aérea foi separada das raízes e juntada às folhas colhidas anteriormente. As raízes e os nódulos, sem serem destacados, foram separados do solo e acondicionados em frascos de vidro para o estudo da fixação do nitrogênio atmosférico. Posteriormente as raízes e os nódulos foram lavados com água da torneira, água destilada e água deionizada e foram separados. Foi determinado o número de nódulos por vaso. A seguir todo o material vegetal foi seco em estufa a 65°C. Após a secagem foi feita a pesagem da parte aérea, raiz e nódulos e determinado o peso de 100 nódulos.

4.6. Estudo da fixação do nitrogênio atmosférico

O método utilizado foi o da redução do acetileno. Este método se baseia na capacidade do sistema enzimático nitrogenase de reduzir o acetileno a etileno (HARDY *et alii*, 1971). Este mesmo sistema enzimático é o responsável pela redução do nitrogênio atmosférico no processo da fixação biológica.

Os nódulos, sem serem destacados das raízes, foram colocados em frascos de vidro de 65 ml. Estes frascos foram tampados com rolhas de borracha semelhantes às utilizadas em frascos de soro. A seguir, por meio de seringas, foram retirados 6,5 ml de ar de dentro destes frascos e injetado imediatamente o mesmo volume de acetileno. As amostras ficaram incubadas por um período de uma hora. Após o período de incubação, foram transferidos 5 ml da mistura de gases (entre eles o etileno evoluído) contida nos frascos, para outros com capacidade de 10 ml. Previamente retirou-se o mesmo volume de ar destes frascos. Desta operação resultou uma diluição das amostras de 1:2.

Para a medida do etileno evoluído foi utilizado um cromatógrafo de gás Beckman, modelo GC-65, que possui ionização de chama de hidrogênio, nitrogênio como gás de arraste e coluna de Poropak N. Foram injetados 0,5 ml de cada amostra diretamente no aparelho, obtendo-se o cromatograma. Foram injetados também 0,5 ml do padrão com quantidade conhecida de etileno.

Os cálculos foram feitos com base na altura do pico ($L_p = 99,66$ mm) e atenuação ($a_p = 32$) relativos ao padrão de etileno, na quanti

dade de etileno contida em 0,5 ml do padrão ($Q_p = 11,16$ nanomoles), no volume do frasco de incubação ($V = 65$ ml), na diluição resultante da estocagem ($d = 2$), no volume de amostra injetado ($v = 0,5$ ml), na altura do pico (L) e atenuação (a) referentes às amostras e no tempo de incubação ($t = 1$ hora). Considerando todas estas variáveis, o número de nanomoles de etileno evoluído por amostra, por hora, foi calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{nanomoles de etileno/amostra/h} = \frac{Q_p \cdot V \cdot d \cdot L \cdot a}{L_p \cdot a_p \cdot v \cdot t}$$

Considerando que Q_p , V , d , L_p , a_p , v e t foram constantes, a fórmula anterior foi simplificada para:

$$\text{nanomoles de etileno/amostra/h} = K \cdot L \cdot A$$

onde K é uma constante que englobou todas as demais e é igual a 0,9098.

O número de nanomoles de etileno evoluído por grama de nódulo, por hora, foi calculado empregando a seguinte fórmula:

$$\text{nanomoles de etileno/g de nódulo/h} = \frac{K \cdot L \cdot a}{p}$$

onde p é o peso em grama dos nódulos de cada amostra.

4.7. Análise química das plantas

Para a análise química, a parte aérea e as raízes foram previamente moídas em moinho tipo Willey, usando peneira de 20 malhas.

Os métodos utilizados foram os seguintes: semi-micro-Kjeldahl para o nitrogênio; método colorimétrico do vanadomolibdato de amônio para o fósforo; espectrofotometria de emissão atômica para o potássio e espec-

trofotometria de absorção atômica para o cálcio, o magnésio, o ferro e o zinco. O procedimento seguido em cada determinação foi o descrito por SARRUGE *et alii* (1974).

4.8. Detecção das radiações

As principais características dos radioisótopos ^{59}Fe e ^{65}Zn estão apresentadas na Tabela 4.

Foram preparados padrões contendo estes radioisótopos a partir das soluções usadas por ocasião da instalação do experimento. Estes foram preparados transferindo 0,5 ml de solução para tubos de ensaio e completando o volume a 10 ml, usando pipetas graduadas. Foram feitas duas repetições de cada padrão.

As amostras das plantas foram preparadas pipetando 10 ml do extrato nítrico-perclórico, para tubos de ensaio semelhantes aos usados para os padrões.

Para a detecção das radiações foi usado um espectrômetro gama monocanal, composto das seguintes partes: um cristal de NaI(Tl) de 7,62 cm de altura por 7,62 cm de diâmetro (3x3 polegadas), tipo poço (poço com 3,81 cm de profundidade e 2,22 cm de diâmetro) e uma válvula fotomultiplicadora tipo 8054, formando um conjunto selado modelo 12AW12, fabricado pela Harshaw Chemical Company; um divisor de tensão e um pré-amplificador ORTEC modelo 276; um amplificador ORTEC modelo 451; um analisador ORTEC modelo 730; um contador ORTEC modelo 430; um marcador de tempo ORTEC modelo 719 e uma fonte de alta voltagem ORTEC modelo 456.

O aparelho foi calibrado fixando-se a fonte de alta voltagem em 1000 volts. Procurou-se fixar a região dos fotopicos dos radioisótopos ^{59}Fe e ^{65}Zn próxima ao fundo de escala. Usando os radioisótopos ^{60}Co ($\gamma = 1,170$ e $1,330$ MeV), ^{59}Fe ($\gamma = 1,099$ e $1,292$ MeV) e ^{65}Zn ($\gamma = 1,116$ MeV), foi achada uma relação média entre a energia de suas radiações, correspondentes aos fotopicos e a voltagem do discriminador, encontrando-se um coeficiente de 0,1437, ou seja, 0,1437 MeV/volt. Como a escala do discriminador vai até 10 volts, o fundo de escala ficou correspondendo a 1,437 MeV.

Foi feito um levantamento dos espectros de energia dos dois radioisótopos nas regiões dos fotopicos, fazendo-se contagens com a janela do analisador fixada em 0,1 volt. Estes espectros estão apresentados na Figura 1. No eixo das abscissas aparecem duas escalas. A superior corresponde às voltagens (volt) do discriminador e a inferior corresponde às energias (MeV) das radiações.

Com base nos espectros dos dois radioisótopos foram escolhidos dois canais de contagem, mostrados na Figura 1. O canal "A" corresponde a região do espectro entre 7,20 e 8,40 volts ou 1,035 e 1,207 MeV. O canal "B" corresponde a região entre 8,40 e 9,40 volts ou 1,207 e 1,351 MeV. No canal "A" foram feitas as contagens relativas ao ^{65}Zn e no canal "B" as contagens relativas ao ^{59}Fe .

Algumas das amostras vegetais continham a mistura dos dois radioisótopos. A determinação de cada radioisótopo, foi feita resolvendo um sistema de equações simultâneas, semelhante aos sistemas descritos por ADAMS *et alii* (1958), KOLLAR *et alii* (1970), VEGLIA e KECKES (1971) e

MDNTANHEIRO (1975). As equações foram as seguintes:

$$N_Z = Z + {}_z f_f \cdot F$$

e

$$N_F = {}_f f_z \cdot Z + F$$

onde N_Z = contagem líquida no canal "A"; N_F = contagem líquida no canal "B"; Z = contagem líquida correspondente apenas ao ^{65}Zn no canal "A"; F = contagem líquida correspondente apenas ao ^{59}Fe no canal "B"; ${}_f f_z$ = fração da contribuição do ^{65}Zn para as contagens do canal "B" e ${}_z f_f$ = fração da contribuição do ^{59}Fe para as contagens do canal "A".

Os valores dos fatores ${}_f f_z$ e ${}_z f_f$ foram calculados experimentalmente, fazendo contagens de amostras dos dois radioisótopos separadamente. Calculou-se o fator ${}_f f_z$ contando uma amostra contendo apenas o ^{65}Zn , nos dois canais. Neste caso podemos escrever:

$${}_f f_z = \frac{N_F}{N_Z}$$

De maneira semelhante calculou-se o fator ${}_z f_f$ a partir das contagens líquidas nos dois canais, de amostras contendo apenas o ^{59}Fe . Podemos escrever:

$${}_z f_f = \frac{N_Z}{N_F}$$

A partir do sistema de duas equações foram deduzidas as fórmulas para a determinação de cada radioisótopo nas amostras compostas. Estas fórmulas são as seguintes:

$$Z = \frac{N_Z - {}_z f_f \cdot N_F}{1 - {}_z f_f \cdot {}_f f_z}$$

e

$$F = N_F - f_z \cdot Z$$

Para a determinação da radioatividade, foi feita inicialmente a contagem da radiação de fundo (BG) nos dois canais de contagem. O tempo de contagem em cada canal foi de 100 minutos. Em seguida, foram feitas as contagens referentes aos padrões e às amostras, nos respectivos canais de contagem. De cada contagem foi subtraído o BG respectivo, obtendo-se as contagens líquidas.

A partir das contagens líquidas das amostras compostas, foram calculadas as contagens líquidas correspondentes a cada radioisótopo (^{59}Fe e ^{65}Zn) no seu canal respectivo, empregando as fórmulas apresentadas anteriormente.

As contagens líquidas dos padrões foram relacionadas com as suas radioatividades, encontrando os fatores de conversão de contagem para radioatividade, de ambos radioisótopos. Em seguida, todos os dados de contagem das amostras, foram transformados para radioatividade, usando estes fatores de transformação. Tendo a radioatividade das soluções (extrato nítrico-perclórico), foi calculada a radioatividade por grama de amostra de parte aérea e de raiz.

Foi calculada ainda a percentagem do elemento na amostra proveniente do adubo, empregando a seguinte fórmula:

$$\% \text{ elem. am. prov. adubo} = \frac{S_A}{S_0} \times 100$$

onde S_A = atividade específica do radioisótopo na amostra e S_0 = atividade específica do radioisótopo no adubo. As atividades específicas foram

calculadas da seguinte maneira:

$$S_A = \frac{\text{radioatividade da amostra (pCi/g)}}{\text{concentração (ppm) do elemento na amostra}}$$

$$S_0 = \frac{\text{radioatividade total do adubo (pCi/vaso)}}{\text{quantidade do elemento aplicado (µg/vaso)}}$$

Finalmente foi calculada a percentagem do nutriente aplicado, presente nas amostras, ou seja, a percentagem de aproveitamento do nutriente. Este cálculo foi feito estabelecendo uma relação percentual entre a radioatividade da amostra e a radioatividade do adubo.

Todos os dados foram analisados estatisticamente com auxílio de computador.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5 encontram-se os resultados da análise estatística dos dados das diversas variáveis, constando os níveis de significância das diferenças dentro de cada fonte de variação, as transformações efetuadas nos dados visando homogeneizar as variâncias para a análise estatística (STEEL e TORRIE, 1960) e os coeficientes de variação. Foi feita a análise de regressão das variáveis que apresentaram diferença significativa entre tratamentos. Os contrastes definidos para esta análise encontram-se na Tabela 6. No caso das variáveis que envolveram a determinação da radioatividade do ^{65}Zn , foram calculados apenas os contrastes $\text{Zn}_2 \times \text{Zn}_1$ e $\text{Fe}_2\text{Zn}_2 \times \text{Fe}_1\text{Zn}_1$. As variáveis que apresentaram a interação solos x tratamentos significativa, foram analisadas dentro de cada solo. Os níveis de significância e os sinais dos contrastes obtidos na análise de regressão, encontram-se na Tabela 7. As médias de três repetições dos efeitos dos solos e dos tratamentos de todas as variáveis encontram-se nas Tabelas 8 a 14. Estas médias foram classificadas pelo teste de Duncan, conforme o nível de significância das diferenças entre elas.

Os coeficientes de variação (Tabela 5) obtidos dentro das va
riáveis, conferem uma precisão satisfatória às determinações efetuadas. Fa
zem exceções as determinações da concentração de potássio na raiz e do eti
leno evoluído por grama de nódulo e por amostra.

5.1. Efeito das unidades de solo

Pela Tabela 5 podemos observar que o comportamento da cultu
ra foi diferente entre os três solos. É comum a observação desta variação
de comportamento nos experimentos onde se estudam mais de um solo. WALLACE
e MULLER (1969) por exemplo, estudando feijão, milho, soja e algodão em
três solos, verificaram que as quatro culturas tiveram um comportamento di
ferente em cada solo. Também OSINAME *et alii* (1973) verificaram um compor-
tamento variável do milho em seis solos. Estas variações são devidas às di
ferenças entre as características dos solos. Algumas das variações encon-
tradas no presente trabalho podem ser explicadas pelas características de-
terminadas dos solos. Outras, entretanto, estão ligadas à características
que não foram determinadas.

Na Tabela 1 podemos observar uma série de diferenças entre
os três solos estudados. Por exemplo, o solo Podzólico Vermelho Amarelo
(PVA) apresenta o pH inferior ao dos outros dois. O teor de fósforo do so-
lo Terra Roxa Estruturada (TRE) é inferior ao dos demais. Por outro lado,
o teor de potássio deste solo é muito superior. Isto fez com que na aduba-
ção básica do solo TRE, fosse duplicada a dose de fósforo e suprimida a a-
plicação de potássio. A concentração de cálcio é mais elevada no solo TRE
e mais baixa no solo PVA. A concentração de magnésio é mais baixa no solo

Latossol Vermelho Escuro (LVE). O teor de alumínio trocável é mais alto no solo PVA. O teor de ferro do solo PVA é mais elevado do que o do LVE e o deste, mais elevado do que o do TRE. Entretanto, mesmo o teor de ferro do solo TRE pode ser considerado como elevado. Os teores de zinco dos três solos estão dentro de uma faixa que pode ser considerada boa. Apesar de terem sido estabelecidos para solos de outras condições, consideram-se 2,5 e 0,5 ppm como sendo os níveis críticos de ferro e zinco, respectivamente, para as plantas sensíveis à deficiência destes micronutrientes (COX e KAMPRATH, 1972; BROWN *et alii*, 1962).

5.1.1. Efeito na produção de matéria seca

Fazendo uma comparação geral entre os três solos, verificamos que aparentemente, o solo TRE possui maior potencial de fertilidade. Este solo tem apenas uma limitação maior, quanto ao teor de fósforo. Esta limitação, entretanto, foi eliminada pela adição de uma dose dupla de fósforo por ocasião da adubação básica. Com isto, o que seria de esperar, era um melhor comportamento da cultura neste solo do que nos demais. Isto realmente aconteceu. Foi neste solo que houve a maior formação de parte aérea (Tabela 8). Este melhor desenvolvimento está relacionado com uma maior concentração de nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea das plantas deste solo (Tabelas 10 e 11).

O peso das raízes (Tabela 8) foi maior no solo LVE do que nos demais. Comparando este solo com o PVA podemos concluir que este efeito foi devido ao teor de alumínio trocável que é mais elevado no solo PVA. De acordo com CRUZ (1966), a presença de alumínio em um nível tóxico, pre-

judica o desenvolvimento da raiz. Comparando, entretanto, o solo LVE com o TRE, não conseguimos encontrar uma explicação para a menor produção de raízes no solo TRE.

5.1.2. Efeito na formação de nódulos e na fixação de nitrogênio atmosférico.

No solo TRE e no LVE ocorreu a formação de um maior número de nódulos do que no solo PVA (Tabela 8). O número de nódulos reflete a ocorrência de infecção das raízes pela bactéria. De acordo com NUTMAN (1971) a infecção é muito influenciada pelo pH do meio, podendo mesmo cessar em meio com pH abaixo de 5,4. Esta é a condição do solo PVA e, provavelmente, por este motivo, o número de nódulos neste solo foi reduzido.

O peso total dos nódulos (Tabela 8) foi maior no solo TRE do que no LVE, em consequência da formação de nódulos maiores naquele solo (Tabela 9). Este crescimento dos nódulos no solo TRE pode ter sido beneficiado pela maior disponibilidade de cálcio e fósforo. De acordo com uma revisão feita por FREIRE e VIDOR (1971) estes dois nutrientes tem influência marcante na formação e no desenvolvimento dos nódulos. Foi, entretanto, no solo PVA onde houve a formação de nódulos maiores. Como as plantas receberam apenas uma quantidade pequena de nitrogênio na época do plantio e portanto, dependiam do nitrogênio atmosférico fixado, acreditamos que o crescimento dos nódulos no solo PVA tenha sido uma compensação do pequeno número formado.

Apesar dos elevados coeficientes de variação (Tabela 5) en-

contrados para as variáveis que envolveram a determinação do etileno evoluído, os resultados da análise estatística indicam que os nódulos do solo PVA foram mais eficientes do que os do solo TRE e fixaram nitrogênio na mesma intensidade que os nódulos do solo LVE (Tabela 9). A fixação total de nitrogênio no solo LVE foi mais elevada do que nos demais.

5.1.3. Efeito na concentração de nitrogênio

Houve uma correspondência da máxima formação de nódulos (Tabela 8) com a maior concentração de nitrogênio na parte aérea das plantas do solo TRE (Tabela 10). Também houve correspondência da máxima evolução de etileno por grama de nódulo (Tabela 9) com a maior concentração de nitrogênio na raiz das plantas do solo PVA (Tabela 10).

Não houve diferença entre as concentrações de nitrogênio nos nódulos dos três solos.

5.1.4. Efeito na concentração de fósforo

A adição de uma dose de fósforo duas vezes maior ao solo TRE, fez com que a concentração deste nutriente na parte aérea das suas plantas fosse maior do que nas demais (Tabela 11). Não aconteceu o mesmo nas raízes. As raízes que apresentaram maior concentração de fósforo foram as do solo PVA. É provável que tenha ocorrido algum problema de transporte do nutriente da raiz para a parte aérea, determinado pela presença do alumínio trocável neste solo. Os polímeros de alumínio precipitam o fosfato, impedindo o seu movimento da raiz para a parte aérea.

Foi no solo LVE que ocorreu a menor absorção de fósforo. Tanto a parte aérea como a raiz das plantas deste solo apresentaram menor concentração de fósforo. Observando a Tabela 1, podemos concluir que este efeito foi devido ao baixo teor de magnésio neste solo pois, de acordo com LOURENÇO (1967) a absorção de fósforo está ligada com a concentração de magnésio do meio.

5.1.5. Efeito na concentração de potássio

A concentração de potássio, tanto na parte aérea como na raiz (Tabela 11) está correlacionada com o teor deste nutriente no solo (Tabela 1). O solo TRE com maior teor, apresentou plantas com maior concentração e o LVE, com menor teor, apresentou plantas com menor concentração de potássio.

5.1.6. Efeito na concentração de cálcio

A concentração de cálcio nas plantas do solo PVA foi muito menor do que a concentração deste elemento nas plantas dos outros dois solos (Tabela 12). Observando a Tabela 1, verificamos que o teor de cálcio deste solo é inferior ao dos demais.

No solo LVE a absorção de cálcio foi maior do que no solo TRE, apesar deste possuir maior teor de cálcio do que aquele. Este comportamento, provavelmente, seja devido à maior concentração de potássio no solo TRE. A presença de potássio em grande quantidade prejudica a absorção de cálcio (MASS, 1969).

5.1.7. Efeito na concentração de magnésio

A concentração de magnésio apresentou uma relação inversa com o teor de potássio no solo. Esta relação foi mais estreita na parte aérea do que na raiz. Como no caso do cálcio, existe um antagonismo entre o magnésio e o potássio. Via de regra, quando aumenta a absorção de potássio, diminui a de magnésio. Isto foi o que aconteceu no presente trabalho (Tabelas 11 e 12). As plantas do solo LVE apresentaram a maior concentração de magnésio. Foi este solo que apresentou o menor teor de magnésio e também o que apresentou o menor teor de potássio (Tabela 1). Por outro lado, o solo TRE apresentou o maior teor de potássio e suas plantas apresentaram a parte aérea com a menor concentração de magnésio.

5.1.8. Efeito na concentração de ferro

A parte aérea das plantas do solo PVA apresentou uma concentração de ferro maior do que a parte aérea das plantas dos outros dois solos, onde as concentrações de ferro foram iguais (Tabela 13). Este comportamento era o esperado pois, o solo PVA tem o maior teor de ferro e o menor valor pH (Tabela 1). Apesar do ferro ser absorvido em uma faixa ampla de pH, sua disponibilidade aumenta à medida que abaixa o pH do solo. Este efeito do pH sobre o ferro do solo foi demonstrado por MATHERS (1970) adicionando ácido sulfúrico ao solo e medindo o efeito na cultura do sorgo.

A observação dos dados de concentração de ferro nas raízes (Tabela 13) sugere a ocorrência de algum problema no transporte do ferro

da raiz para a parte aérea das plantas do solo TRE. As raízes destas plantas apresentaram a maior concentração de ferro enquanto a parte aérea apresentou a menor concentração deste micronutriente. Há possibilidade de que o fator determinante deste acúmulo de ferro nas raízes, seja a adição de uma dose dupla de fósforo a este solo, por ocasião da adubação básica. De acordo com CHER e DAVIDSON (1955, citado por BROWN, 1972), o fosfato forma precipitado com o ferro, o que dificulta o movimento deste para a parte aérea.

Nas condições em que foi conduzido este experimento, a radioatividade do ^{59}Fe usada foi insuficiente para permitir a detecção da radioatividade das amostras vegetais com um nível de precisão satisfatório. Em vista disso, os dados de radioatividade do ^{59}Fe foram desprezados e não foi determinado o coeficiente de aproveitamento do ferro do adubo.

5.1.9. Efeito na concentração e na absorção do zinco

A concentração de zinco nas plantas (Tabela 13) não apresentou nenhuma relação com o teor de zinco nos solos (Tabela 1).

O motivo desta falta de relação pode ter sido o próprio método utilizado para a extração do zinco dos três solos.

As concentrações de zinco nas plantas foram diferentes de solo para solo. Provavelmente foram dois fatores que determinaram estas diferenças: o pH e a disponibilidade de fósforo dos solos. Sabe-se que a disponibilidade do zinco é maior em condição de pH mais baixo. A relação entre a acidez do solo e a absorção do zinco já foi verificada por alguns

autores. PAULI *et alii* (1968) verificaram que a elevação do pH do solo pela calagem, ocasionou uma redução severa da absorção do zinco por plantas de feijão. De acordo com MELTON *et alii* (1970) a calagem do solo pode até induzir uma deficiência de zinco para as plantas. Foi no solo PVA, onde o pH é mais baixo, que as plantas absorveram maior quantidade de zinco.

Por outro lado, a disponibilidade de zinco é reduzida à medida que se eleva o teor de fosfato no solo. Foi o que verificaram MARIÑO e IGUE (1972) e WALLACE *et alii* (1973). De acordo com WARNOCK (1970) a adição de fósforo ao solo pode inclusive induzir a deficiência de zinco. Acreditamos que seja devido a adição da dose dupla de fósforo ao solo TRE que as plantas deste solo apresentaram a menor concentração de zinco.

Considerando que a planta absorve o zinco sem fazer distinção entre o isótopo radioativo e o estável e observando as variáveis da Tabela 14, verificamos que o efeito dos solos em relação ao zinco do adubo, foi o mesmo descrito em relação à concentração de zinco na planta (Tabela 13). As plantas do solo PVA apresentaram maior radioatividade do ^{65}Zn , maior percentagem de zinco proveniente do adubo e maior percentagem de aproveitamento do adubo. O solo LVE ficou numa posição intermediária entre o PVA e o TRE. Acreditamos que as causas deste comportamento sejam o pH e a disponibilidade de fósforo do solo, que são as mesmas apresentadas para as diferenças na concentração do zinco.

Os dados sobre o aproveitamento do zinco do adubo pela planta, confirmam as considerações anteriores sobre a influência do pH e do teor de fósforo na disponibilidade do zinco. O aproveitamento deste micro nutriente foi maior no solo PVA e menor no solo TRE. Estes resultados con

cordam com os obtidos por SHAW *et alii* (1954) para o milho. Estes autores trabalharam com quatro solos diferentes e verificaram que o aproveitamento do adubo foi maior no solo com pH 4,9 do que nos solos com pH 6,7, 7,0 e 7,6. Entre estes três solos, o menor aproveitamento foi no solo que recebeu a maior dose de fósforo.

Ainda pela Tabela 14, podemos verificar que nos três solos a percentagem do zinco da parte aérea proveniente do adubo foi maior do que a da raiz. Estes dados nos levam a concluir que houve uma distribuição diferente entre o zinco proveniente do adubo e o proveniente do solo. Esta diferença de distribuição já foi verificada também por SINGH e STEENBERG (1974) em plantas de milho. Estes autores verificaram que enquanto a radioatividade do ^{65}Zn foi maior na bainha do que na raiz, a concentração de zinco foi maior na raiz do que na bainha de plantas de milho.

5.2. Efeito dos tratamentos

5.2.1. Efeito na produção de matéria seca e na formação de nódulos

Não houve influência dos tratamentos de ferro e zinco na produção de parte aérea e raiz e nem no peso, número e peso médio dos nódulos (Tabelas 8 e 9). Aceitando que para as nossas condições os valores dos níveis críticos do ferro e do zinco não devem ser muito diferentes daqueles estabelecidos para outras condições e de acordo com a definição de nível crítico, a ausência de resposta a estes micronutrientes é inteiramente explicada pelos seus teores nestes solos (Tabela 1).

Em outros experimentos, entretanto, trabalhando com solos com teores mais baixos de ferro e de zinco, tem sido obtidas respostas, tanto do feijoeiro como de outras culturas, à adição destes micronutrientes ao solo. DeREMÉR e SMITH (1964) encontraram resposta do feijoeiro, à aplicação de zinco ao solo. EDWARDS e MOHAMED (1973) verificaram o efeito de doses de zinco no feijoeiro cultivado em solução nutritiva. MARTENS *et alii* (1973) e OSINAME *et alii* (1973) encontraram efeito significativo da adição do zinco ao solo, na produção de milho. GIORDANO e MORTVEDT (1974) verificaram este mesmo efeito do zinco na cultura do arroz. LOPEZ e GRAHAM (1973) obtiveram respostas da cultura do trevo, à aplicação do zinco em três solos de um grupo de seis.

MATHERS (1970) e MIKESSELL *et alii* (1973) obtiveram respostas significativas da cultura do sorgo à aplicação de ferro ao solo. Este mesmo efeito foi verificado por VAN DE VENTER e SMALL (1972), na produção de trevo.

Por outro lado, alguns autores tem encontrado efeito negativo do zinco. POLSON e ADAMS (1970) observaram uma redução na produção de matéria seca de feijoeiro, causada pela adição de zinco. SHAW *et alii* (1954) cultivando aveia em um solo com pH 7,6 e com teor de zinco de 2,5 ppm, também observaram um efeito negativo do zinco na produção da cultura.

5.2.2. Efeito na fixação do nitrogênio atmosférico e na concentração de nitrogênio.

Os coeficientes de variação para as variáveis que implicaram na determinação do etileno evoluído, foram muito altos (Tabela 5). Mesmo assim, a análise de regressão (Tabela 7) dos dados referentes à evolução do etileno por grama de nódulo, deu uma indicação de que a dose maior de ferro diminuiu a capacidade dos nódulos de fixarem nitrogênio atmosférico, em relação à dose menor.

Esta análise mostrou também uma diferença entre as doses de zinco. A dose maior foi melhor do que a menor pois, proporcionou maior evolução de etileno por grama de nódulo.

Procurando relacionar a concentração de nitrogênio na planta com a capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico, podemos reforçar a observação anterior sobre o efeito da dose maior de zinco. Na Tabela 10 verificamos que este tratamento ocasionou uma maior concentração de nitrogênio na parte aérea do que o tratamento com a dose menor, o que foi confirmado pela análise de regressão (Tabela 7).

Podemos verificar na Tabela 10, que apenas o tratamento Zn_2 proporcionou uma concentração de nitrogênio na parte aérea maior do que a observada no tratamento testemunha. Já foi constatada a influência do zinco na síntese de proteínas (PRICE *et alii*, 1972). Entretanto não temos ainda citação sobre o papel do zinco na absorção do nitrogênio. No caso das raízes, não houve nenhum tratamento que se diferenciasse do tratamento testemunha.

Não houve efeito do ferro na concentração de nitrogênio na planta.

Não houve também nenhuma influência dos tratamentos na concentração de nitrogênio nos nódulos.

5.2.3. Efeito na concentração de fósforo

Não houve nenhuma influência dos tratamentos na concentração de fósforo. Este resultado discorda dos obtidos por outros autores, para outras culturas. MARTENS *et alii* (1973) verificaram que houve uma diminuição na concentração de fósforo nas plantas de milho, pela aplicação de zinco. GIORDANO e MORTVEDT (1974) encontraram este mesmo efeito na cultura do arroz. MIKESSELL *et alii* (1973) verificaram que a adição de ferro diminuiu a concentração de fósforo na parte aérea do sorgo e não alterou a concentração deste elemento na raiz.

5.2.4. Efeito na concentração de potássio

A Tabela 5 indica que houve diferença significativa entre os tratamentos, para a concentração de potássio na parte aérea. Na Tabela 7 podemos observar o seguinte: a média dos tratamentos com ferro foi superior à dos tratamentos com zinco e a média dos quatro primeiros tratamentos, onde se estuda o efeito isolado do ferro ou do zinco, foi superior à média dos tratamentos onde se estuda o efeito conjunto dos dois micronutrientes.

Pela Tabela 11, verificamos que houve uma diferença significativa entre os tratamentos Fe_2 e Fe_2Zn_2 , mostrando um efeito negativo da interação dos dois micronutrientes, na absorção do potássio. Não temos ainda nenhuma indicação de um papel específico do ferro ou do zinco na absorção deste macronutriente.

5.2.5. Efeito na concentração de cálcio

A Tabela 5 mostra que houve diferença significativa entre os tratamentos para a concentração de cálcio na raiz. Pela observação da Tabela 12, verificamos que o tratamento Fe_2 provocou um decréscimo nesta concentração. Como foi comum nos três solos, este comportamento mostra que o ferro tem alguma influência na absorção do cálcio. MIKESELL *et alii* (1973) encontraram um efeito contrário a este, na cultura do sorgo, que apresentou um aumento na concentração de cálcio na raiz, causado pela adição de ferro ao solo.

Baseado ainda na Tabela 12, podemos dizer que houve uma interação negativa entre o ferro e o zinco pois, o tratamento Fe_1Zn_1 foi significativamente inferior ao tratamento Fe_1 . Este efeito entretanto, ainda não está explicado.

Não houve efeito de nenhum dos dois micronutrientes, na concentração de cálcio na parte aérea.

5.2.6. Efeito na concentração de magnésio

A concentração de magnésio na parte aérea das plantas foi mais elevada nos tratamentos com adubação do que no tratamento testemunha (Tabela 12). Entre os tratamentos com adubação, entretanto, não houve diferença significativa. Isto mostra que tanto o ferro como o zinco tem algum papel na absorção do magnésio pelo feijoeiro. Com a cultura do sorgo MIKESELL *et alii* (1973) encontraram efeito negativo do ferro na absorção do magnésio, o que discorda dos dados obtidos neste experimento.

Não houve efeito dos tratamentos, na concentração de magnésio na raiz.

5.2.7. Efeito na concentração de ferro

A adubação dos três solos com ferro não teve qualquer influência na concentração de ferro na parte aérea e nem na raiz (Tabela 13). Isto, provavelmente, seja devido ao elevado teor de ferro destes solos (Tabela 1) pois, trabalhando com três solos com baixos teores de ferro, LOPEZ e GRAHAM (1973) obtiveram um acréscimo considerável na concentração de ferro, tanto na parte aérea como na raiz de trevo, causado pela adição de ferro aos solos. Também MIKESELL *et alii* (1973) encontraram aumento na concentração de ferro na raiz de trevo, como efeito da adição de ferro ao solo. Por outro lado, MATHERS (1970) e MIKESELL *et alii* (1973) encontraram um efeito negativo do ferro, na concentração de ferro na parte aérea de plantas de trevo.

Os tratamentos com o zinco sem o ferro, também não tiveram efeito na concentração de ferro na planta (Tabela 13). Estes dados discordam dos obtidos por outros autores. POLSON e ADAMS (1970) observaram uma redução na concentração de ferro na parte aérea de feijoeiro e um aumento na concentração de ferro na raiz, em consequência da adição de zinco ao solo. LOPEZ e GRAHAM (1973) verificaram que a adição de zinco ao solo reduziu tanto a absorção de ferro pelo trevo como o seu transporte da raiz para a parte aérea. LINGLE *et alii* (1963) trabalhando em solução nutritiva, constataram também uma redução severa na absorção de ferro à medida que aumentavam a concentração de zinco na solução.

O único efeito significativo foi o do tratamento Fe_2Zn_2 , que aumentou a concentração de ferro na parte aérea. Pelas médias de cada solo, entretanto, podemos observar que este efeito só foi verificado no solo PVA, cujo teor de ferro é o mais elevado. Estes dados também discordam dos obtidos por LOPEZ e GRAHAM (1973), pois, no trabalho destes autores, a adição de zinco em conjunto com o ferro, ocasionou uma diminuição na absorção do ferro por plantas de trevo em três solos.

5.2.8. Efeito na concentração e na absorção de zinco

Com relação à concentração de zinco na parte aérea, a análise de variância (Tabela 5) revelou efeito significativo da interação entre solos e adubos. Ao se fazer a análise de regressão (Tabela 7), entretanto, verificou-se que esta interação foi significativa devido à intensidade das respostas, pois, de modo geral, os efeitos dos tratamentos foram os mesmos nos três solos.

Podemos observar pelas Tabelas 7 e 13 que o tratamento Zn_2 foi superior ao Zn_1 , o tratamento Zn_1 foi superior ao tratamento testemunha nos solos LVE e PVA e o tratamento Fe_2Zn_2 foi superior ao tratamento Fe_1Zn_1 , no que diz respeito à concentração de zinco na parte aérea. O efeito do zinco foi o mesmo tanto na ausência como na presença do ferro. Estes resultados concordam com os obtidos por LOPEZ e GRAHAM (1973) que encontraram um acréscimo na concentração de zinco na parte aérea do trevo, como resultado da adição do zinco em cinco solos deficientes em zinco. Este mesmo efeito foi verificado por POLSON e ADAMS (1970), OSINAME *et alii* (1973) e GIORDANO e MORTVEDT (1974) nas culturas de feijão, milho e arroz, respectivamente. Em solução nutritiva, LINGLE *et alii* (1963) obtiveram também esta resposta, com a cultura da soja. À medida que aumentaram a concentração de zinco na solução, houve um aumento na concentração deste nutriente na parte aérea das plantas.

Não houve efeito do ferro na concentração de zinco na parte aérea. MIKESELL *et alii* (1973) entretanto, verificaram que a adição de ferro ao solo ocasionou uma diminuição na concentração de zinco, tanto na parte aérea como na raiz do sorgo. Também LOPEZ e GRAHAM (1973) verificaram que a adição do ferro ao solo além da adição do zinco, reduziu a concentração de zinco na parte aérea do trevo, em relação ao tratamento que recebeu apenas o zinco.

A concentração de zinco na raiz também apresentou interação significativa entre solos e tratamentos (Tabela 5). A Tabela 13 mostra que não houve diferença entre os tratamentos no solo TRE.

Pelo teste de Duncan, apenas o tratamento Zn_2 foi superior ao tratamento testemunha no solo LVE. Pela análise de regressão (Tabela 7) entretanto, podemos observar que também o tratamento Fe_2Zn_2 foi superior ao tratamento testemunha, visto que Fe_2Zn_2 foi superior a Fe_1Zn_1 e este foi igual ao tratamento testemunha. Neste solo não houve efeito da adição do zinco na dose mais baixa e nem efeito da adição do ferro, na concentração de zinco na raiz.

No solo PVA, todos os tratamentos com zinco proporcionaram uma maior concentração deste micronutriente na raiz do que o tratamento testemunha. O tratamento Zn_2 foi superior ao tratamento Zn_1 e o tratamento Fe_2Zn_2 foi superior ao tratamento Fe_1Zn_1 .

O efeito do zinco foi o mesmo tanto na presença como na ausência do ferro, no solo PVA. LOPEZ e GRAHAM (1973) obtiveram aumentos na concentração de zinco na raiz de soja, pela adição do zinco em cinco solos. Em três destes solos entretanto, a adição do ferro juntamente com o zinco, reduziu a concentração do zinco. Isto mostra que os efeitos dos tratamentos dependem dos solos usados.

A absorção do zinco do fertilizante, medida pela radioatividade do ^{65}Zn na parte aérea e raiz (Tabela 14) foi influenciada diretamente pela dose de zinco. Pela classificação dada pelo teste de Duncan e confirmada pela análise de regressão (Tabela 7), o tratamento Zn_2 foi superior ao Zn_1 e o Fe_2Zn_2 foi superior ao Fe_1Zn_1 . Não houve nenhum efeito do ferro na absorção do zinco do adubo. Também não houve efeito da interação, o que pode ser constatado observando que o tratamento Fe_1Zn_1 foi igual ao Zn_1 e o Fe_2Zn_2 foi igual ao Zn_2 .

A percentagem de zinco da parte aérea proveniente do adubo (Tabela 14), foi influenciada pelos tratamentos do mesmo modo que a radioatividade do ^{65}Zn . Na raiz o comportamento foi um pouco diferente. O tratamento Zn_2 foi superior ao Zn_1 , o Fe_2Zn_2 foi superior ao Fe_1Zn_1 e o Fe_2Zn_2 foi igual ao Zn_2 . Porém, o tratamento Fe_1Zn_1 foi superior ao tratamento Zn_1 . Esta diferença foi um reflexo de uma leve diferença entre estes dois tratamentos na absorção do zinco do adubo no solo TRE e de uma pequena diferença entre estes mesmos tratamentos na absorção total de zinco (Tabela 13).

Comparando as percentagens de zinco proveniente do adubo, na raiz e na parte aérea, observamos que houve um maior movimento da raiz para a parte aérea, do zinco proveniente do adubo do que do zinco proveniente do solo.

SHAW *et alii* (1954) trabalhando com um solo com pH 4,9 e teor de zinco de 3,9 ppm, encontraram que 43% do zinco nas plantas de milho com idade de 50 dias, eram provenientes do adubo. No solo PVA do presente trabalho, cujo pH e o teor de zinco são semelhantes aos do solo do trabalho destes autores, foi encontrada esta mesma percentagem, no caso dos tratamentos com dose dupla de zinco.

A percentagem do zinco do adubo que foi absorvida (Tabela 14) foi influenciada pelos tratamentos, do mesmo modo que a radioatividade do ^{65}Zn , com exceção para a percentagem do zinco do adubo presente na raiz das plantas do solo TRE, onde não houve diferença entre os tratamentos. Nos demais casos, tanto na parte aérea como na raiz, houve um destaque pa-

ra os tratamentos com a dose dupla de zinco, na presença e ausência do ferro. Não houve diferença entre os tratamentos Fe_2Zn_2 e Zn_2 e nem entre Fe_1Zn_1 e Zn_1 .

A última parte da Tabela 14 apresenta a percentagem do zinco do adubo presente na planta inteira, ou seja, a percentagem total de aproveitamento do zinco aplicado na forma de adubo. Verificamos que este aproveitamento foi maior com a aplicação da dose maior de zinco. Este resultado discorda do encontrado por SHAW *et alii* (1954) que verificaram que a percentagem de utilização foi tanto menor quanto maior a dose de adubo aplicado. Provavelmente, a discordância seja devida à cultura e às doses de zinco usadas. No trabalho de SHAW *et alii* (1954) a cultura usada foi a aveia e as doses de zinco aplicadas foram de 1,5, 3,4 e 7,7 ppm. No presente trabalho a cultura foi o feijoeiro e as doses de zinco foram 2,5 e 5,0 ppm.

Os dados do presente trabalho foram concordantes com os de SHAW *et alii* (1954) no que se refere à máxima utilização do zinco aplicado. Estes autores encontraram 4,3% e no presente trabalho foi encontrado 4,0%. Tanto no trabalho destes autores como no presente, houve uma grande variação entre a máxima e a mínima utilização. Esta variação, entretanto, foi determinada mais pelas diferenças entre os solos estudados.

6. CONCLUSÕES

a) O comportamento do feijoeiro, no que diz respeito ao peso da parte aérea e da raiz, à formação de nódulos e à composição química das plantas, variou grandemente de solo para solo.

b) A absorção do zinco do adubo foi maior no solo Podzólico Vermelho Amarelo (PVA) do que nos demais solos, devido ao seu pH mais baixo. Esta absorção foi menor no solo Terra Roxa Estruturada (TRE) do que no Latossol Vermelho Escuro (LVE), devido à aplicação de uma dose dupla de fósforo no solo TRE. As percentagens de absorção foram de 3,6, 1,4 e 0,9% nos solos PVA, LVE e TRE, respectivamente.

c) Não houve efeito do ferro e do zinco no peso da parte aérea e da raiz e na formação de nódulos.

d) Não houve diferença significativa entre os tratamentos com ferro e com zinco e o tratamento testemunha, com relação ao efeito na fixação de nitrogênio atmosférico, medida pelo etileno evoluído. Entretanto, o tratamento Fe_1 foi melhor do que o Fe_2 e o tratamento Zn_2 foi melhor

do que o Zn_1 . A técnica empregada para a medida do etileno evoluído não foi adequada, resultando em um coeficiente de variação elevado, o que constitui uma restrição à esta conclusão.

e) Com relação à composição química, foi observado um acréscimo na concentração de magnésio na parte aérea e um decréscimo na concentração de cálcio na raiz, causados pelo ferro e um acréscimo na concentração de nitrogênio, de magnésio e de zinco na parte aérea e de zinco na raiz, causados pelo zinco. A adição dos dois micronutrientes em conjunto ocasionou um acréscimo na concentração de ferro na parte aérea.

f) O coeficiente de aproveitamento do zinco do adubo foi maior com a aplicação de 5,0 ppm de zinco do que com a aplicação de 2,5 ppm. Este coeficiente não foi influenciado pela adição do ferro.

g) A aplicação de 5 μCi de ^{65}Zn por kg de solo é suficiente e a aplicação de 7,5 μCi de ^{59}Fe por kg de solo é insuficiente, para a condução de experimentos nos moldes do experimento deste trabalho.

7. SUMMARY

The aim of this work was to study the effects of iron and zinc on yield and chemical composition of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and on atmospheric nitrogen fixation, in three soils, classified as Terra Roxa Estruturada (TRE), Latossol Vermelho Escuro (LVE) and Podzólico Vermelho Amarelo (PVA).

The coefficient of utilization of these micronutrients by this crop and its distribution in above ground part and roots were also assessed.

The experiment was carried out in greenhouse, and experimental design was a 3x7 factorial, with three soils and seven treatments for each soil, in a total of twenty one treatments. These treatments were distributed in randomized block, with three replicates.

The treatments were: Fe₁, Fe₂, Zn₁, Zn₂, Fe₁Zn₁, Fe₂Zn₂ and control. The rates for iron were 1.5 and 3.0 ppm, and for zinc, 2.5 and 5.0 ppm. It was applied 7.5 µCi of ⁵⁹Fe/kg of soil with the lower rate of the stable iron, and 5.0 and 10.0 µCi of ⁶⁵Zn/kg of soil in the pots

corresponding to the lower and higher rate of the stable zinc, respectively.

All the seeds were inoculated with *Rhizobium phaseoli*.

The plants were harvested at the age of 60 days and nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron and zinc content were determined.

Immediately after harvest, symbiotic nitrogen fixation was assessed, using the acetylene reduction method.

The detection of ^{59}Fe and ^{65}Zn radioactivity were carried out on nitric-perchloric extract, by gamma ray spectrometry.

The behavior of common bean presented high variation among the three soils, for all the variables.

There was no influence of treatments of iron and zinc on yield of above ground part and root and also on the weight and number of nodules.

The rate of 3.0 ppm of iron decreased the capacity of nodules to fix atmospheric nitrogen in relation to rate of 1.5 ppm, while the rate of 5.0 ppm of zinc increased this capacity, in relation to the rate of 2.5 ppm.

There was significant effect of treatments on nitrogen, potassium, calcium, magnesium and zinc content in above ground part and on nitrogen, calcium and zinc content in the root.

The absorption of zinc from the fertilizer and the percentage of zinc in the plant derived from fertilizer were directly influenced by rate of zinc. The higher coefficient of utilization of zinc from the fertilizer was 4.0%.

3. LITERATURA CITADA

ADAMS, R., I.C. WOODWARD, M.G. CRANE e J.E. HOLLOWAY, 1958. Two-channel gamma counting of ^{51}Cr and ^{131}I . *International Journal of Applied Radiation and Isotopes*. New York, 3:156-160.

ALMEIDA, D.L. de, A.C. de M. ROCHA, P.A. da EIRA, B.E.V. PACOVA e A.R. SUHET, 1972. Adubação mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) baseada na análise de solo nos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. VII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo. Itabuna, BA.

AMBLER, J.E. e J.C. BROWN, 1969. Cause of differential susceptibility to zinc deficiency in two varieties of navy beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomy Journal*. MADISON, WISCONSIN, 61:41-43.

BROWN, J.C., 1972. Competition between phosphate and the plant for Fe from Fe^{2+} ferrozine. *Agronomy Journal*. MADISON, WISCONSIN, 64:240-243.

BROWN, A.L., B.A. KRANTZ e P.E. MARTIN, 1962. Plant uptake and fate of soil applied zinc. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* MADISON, WISCONSIN, 26:167-170.

- CHER, M. e N. DAVIDSON, 1955. The kinetics of the oxygenation of ferrous iron in phosphoric acid solution. *J. Amer. Chem. Soc.*, **77**:793-798.
(Citado por BROWN, 1972).
- COX, F.R. e E.J. KAMPRATH, 1972. Micronutrient soil tests. In: MORTVEDT, J.J., P.M. GIORDANO e W.L. LINDSAY, ed. *Micronutrients in Agriculture*. Wisconsin, Soil Science Society of America, Inc., p. 289-317.
- CRUZ, A.D., 1966. Contribuição ao estudo do alumínio no trigo (*Triticum vulgare* L.) cultivado em solução nutritiva. Piracicaba, ESALQ/USP, 50 p. (Dissertação de Mestrado).
- DeREMÉR, E.O. e R.L. SMITH, 1964. A preliminary study on the nature of zinc deficiency in field beans as determined by radioactive zinc. *Agronomy Journal*. MADISON, WISCONSIN, **56**:67-70.
- EDWARDS, G.E. e A.K. MOHAMED, 1973. Reduction in carbonic anhydrase in zinc deficient leaves of *Phaseolus vulgaris* L. *Crop Science*. MADISON, WISCONSIN, **13**:351-354.
- GIORDANO, P.M. e J.J. MORTVEDT, 1974. Response of several rice cultivars to Zn. *Agronomy Journal*. MADISON, WISCONSIN, **66**:220-223.
- HARDY, R.W.F., R.C. BURNS, R.R. HERBERT, R.D. HOLSTEN e E.K. JACKSON, 1971. Biological nitrogen fixation: A key to world protein. *Plant and Soil, Special volume*. THE HAGUE, HOLLAND, p. 561-590.
- HEATH, R.L., 1972. Table of isotopes. In: WEAST, R.C. ed. Handbook of chemistry and physics. 53.^a ed. Cleveland, The Chemical Rubber, p. 245-541.

- JACKSON, T.L. e G.E. CARTER, 1976. Nutrient uptake by russet burbank potatoes as influenced by fertilization. *Agronomy Journal*. MADISON, WISCONSIN, 68:9-12.
- JARDIM FREIRE, J.R. e C.VIDOR, 1971. Fatores limitantes dos solos ácidos na simbiose de *Rhizobium* e as leguminosas. In: OBEREINER, J., P.A.da EIRA, A.A. FRANCO e A.B. CAMPELO, ed. *As Leguminosas na Agricultura Tropical*. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Sul, p. 211-247.
- JEFFREYS, R.A., V.Q. HALE e A. WALLACE, 1961. Uptake and translocation in plants of labeled iron and labeled chelating agents. *Soil Science*. NEW BRUNSWICK, NEW JERSEY, 92:268-273.
- KASHIRAD, A. e H. MARSCHNER, 1974. Iron nutrition of sunflower and corn plants in mono and mixed culture. *Plant and Soil*. THE HAGUE, HOLLAND, 41:91-101.
- KOLLÁR, J., D. CHORVÁT e L. KLEMOVÁ, 1970. Estimation of radioactivity of biological samples containing a mixture of ^{144}Ce + ^{144}Pr and ^{59}Fe . *Atompraxis*, 16:1-3.
- KUBOTA, J. e W.H. ALLAWAY, 1972. Geographic distribution of trace element problems. In: MORTVEDT, J.J., P.M. GIORDANO e W.L. LINDSAY, ed. *Micronutrients in Agriculture*. Wisconsin, Soil Science Society of America, Inc., p. 525-554.

- LINGLE, J.C., L.O. TIFFIN e J.C. BROWN , 1963. Iron uptake-transport of soybeans as influenced by other cations. *Plant Physiology*. LANCASTER, 38:71-76.
- LOPEZ, P.L. e E.R. GRAHAM , 1973. Labile pool and plant uptake of Mn, Fe, and Zn by ladino clover (*Trifolium repens*) and its relation to soil labile pools. *Soil Science*. NEW BRUNSWICK, NEW JERSEY, 115:380-389.
- LOURENÇO, S., 1967. Absorção de fósforo por raízes destacadas de cevada (*Hordeum vulgare*) em presença de magnésio. Piracicaba, ESALQ/USP, 29 p. (Dissertação de Mestrado).
- MALAVOLTA, E., 1972. Nutrição e Adubação. Anais do I Simpósio Brasileiro de Feijão, Campinas. p.211-241.
- MARINHO, M.L. e K. IGUE , 1972. Factors affecting zinc absorption by corn from volcanic ash soils. *Agronomy Journal*. MADISON, WISCONSIN, 64:3-8.
- MARTENS, D.C., G.W. HAWKINS e G.D. McCART , 1973. Field response of corn to ZnSO₄ and Zn-EDTA placed with the seed. *Agronomy Journal*. MADISON, WISCONSIN, 65:135-136.
- MASS, E.V., 1969. Calcium uptake by excised maize roots and interactions with alkali cations. *Plant Physiology*. LANCASTER, 44:985-989.
- MATHERS, A.C., 1970. Effect of ferrous sulfate and sulfuric acid on grain sorghum yields. *Agronomy Journal*. MADISON, WISCONSIN, 62:555-556.

- MELTON, J.R., B.G. ELIIS e E.C. DOLL , 1970. Zinc, phosphorus, and lime interactions with yield and zinc uptake by *Phaseolus vulgaris*. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* MADISON, WISCONSIN, 34:91-93.
- MIKESELL, M.E., G.M. PAULSEN , R. ELLIS Jr. e A.J. CASADY , 1973. Iron utilization by efficient and inefficient sorghum lines. *Agronomy Journal*. MADISON, WISCONSIN, 65:77-80.
- MONTANHEIRO, M.N.S., 1975. Espectrometria gama monocanal para detecção conjunta de ^{54}Mn , ^{65}Zn e ^{59}Fe em soluções e tecido vegetal. Piracicaba, ESALQ/USP, 74 p. (Dissertação de Mestrado).
- NEPTUNE MENARO, L. e T. COURY , 1958. Os Micronutrientes. *Revista de Agricultura*. Piracicaba, 33:213-222.
- NUTMAN, P.S., 1971. The physiology of root-hair infection. In: DOBEREINER, J., P.A. da EIRA, A.A. FRANCO e A.B. CAMPELO, ed. *As Leguminosas na Agricultura Tropical*. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Sul, p. 66-74.
- OSINAME, O.A., B.T. KANG, E.E. SCHULTE e R.B. COREY , 1973. Zinc response of maize (*Zea mays* L.) grown on sandy Inceptisols in Western Nigeria. *Agronomy Journal*. MADISON, WISCONSIN, 65:875-877.
- PAULI, A.W., R. ELLIS Jr. e H.C. MOSER , 1968. Zinc uptake and translocation as influenced by phosphorus and calcium carbonate. *Agronomy Journal*. MADISON, WISCONSIN, 60:394-396.

- POLSON, O.E. e M.W. ADAMS , 1970. Differential response of navy beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to zinc. I. Differential growth and elemental composition at excessive Zn levels. *Agronomy Journal*. MADISON, WISCONSIN, 62:557-560.
- PRICE, C.A., H.E. CLARK e E.A.FUNKHOUSER, 1972. Functions of micronutrients in plants. In: MORTVEDT, J.J., P.M.GIORDANO e W.L. LINDSAY, ed. *Micro nutrients in Agriculture*. WISCONSIN, Soil Science Society of America, Inc., p.231-242.
- RASMUSSEN, P.E. e L.C. BOAWN, 1969. Zinc seed treatment as a source of zinc for beans (*Phaseolus vulgaris*). *Agronomy Journal*. MADISON , WISCONSIN, 61:674-676.
- SARRUGE, J.R. e H.P. HAAG, 1974. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ/USP, 56 p. (Trabalho de caráter didático).
- SCHNAPPINGER Jr., M.G., D.C. MARTENS e G.W. HAWKINS, 1972. Response of corn to residual and applied zinc as ZnSO₄ and Zn-EDTA in field investigations. *Agronomy Journal*. MADISON, WISCONSIN, 64:64-66.
- SHAW, E., R.G. MENZEL e L.A. DEAN, 1954. Plant uptake of ⁶⁵Zn from soils and fertilizers in the greenhouse. *Soil Science*. NEW BRUNSWICK, NEW JERSEY, 77:205-214.
- SINGH, B.R. e K. STEENBERG, 1974. Plant response to micronutrients. I. Uptake, distribution and translocation of zinc in maize and barley plants. *Plant and Soil*. THE HAGUE, HOLLAND, 40:637-646.

- SORENSEN, R.C., D.D. DELSLIGLE e D. KNUDSEN, 1971. Extraction of Zn, Fe and Mn from soils with 0.1 N hydrochloric acid as affected by soil properties, solution: soil ratio, and length of extraction period. *Soil Science*. NEW BRUNSWICK, NEW JERSEY, 111:352-359.
- STEEL, R.G.D. e J.H. TORRIE, 1960. *Principles and procedures of statistics*. New York, McGraw-Hill Book Company, Inc., 481 p.
- THORNE, D.W., 1957. Zinc deficiency and its control. *Advances in Agronomy*. NEW YORK, 9:31-65.
- VAN de VENTER, H.A. e J.G.C. SMALL, 1972. Effect of iron compounds on nodulation and growth of *Trifolium pratense* L. in water culture. *Plant and Soil*. THE HAGUE, HOLLAND, 37:309-317.
- VEGLIA, A. e S. KECKES, 1971. Simultaneous application of radionuclides in tracer experiments. *Int. J. Appl. Rad. Isotopes*. NEW YORK, 22:549-559.
- VETTORI, L., 1969. *Métodos de Análise de Solo*. Rio de Janeiro, Bol. Téc. n° 7, E.P.F.S. - M.A. 24 p.
- WALLACE, A., A.A. ELGAZZAR, J.W. CHA e G.V. ALEXANDER, 1973. Phosphorus levels versus concentrations of zinc and other elements in bush bean plants. *Soil Science*. NEW BRUNSWICK, NEW JERSEY, 117:347-351.
- WALLACE, A. e R.T. MUELLER, 1969. Effect of chelating agents on the availability to plants of carrier-free ^{59}Fe and ^{65}Zn added to soils to simulate contamination from fallout. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* MADISON, WISCONSIN, 33:912-914.

WARNOCK, R.E., 1968. Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays* L.) in relation to phosphorus-induced zinc deficiency. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* MADISON, WISCONSIN, 34:765-769.

Tabela 1. Resultados das análises químicas dos três solos.

Solo	pH		ppm		eq. mg/100 g			ppm	
	H ₂ O	KCl	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Fe	Zn
TRE	5,9	5,0	6	150	4,7	0,96	0,4	7,92	5,40
LVE	6,0	5,1	11	35	2,1	0,61	0,5	11,75	2,50
PVA	4,9	4,2	12	62	1,1	1,10	0,8	17,67	3,15

Tabela 2. Relação dos tratamentos e doses dos micronutrientes.

Tratamentos	doses de Fe		doses de Zn	
	estável (ppm)	radioativo (μ Ci/vaso)	estável (ppm)	radioativo (μ Ci/vaso)
Fe ₁	1,5	30	0	0
Fe ₂	3,0	0	0	0
Zn ₁	0	0	2,5	20
Zn ₂	0	0	5,0	40
Fe ₁ Zn ₁	1,5	30	2,5	20
Fe ₂ Zn ₂	3,0	0	5,0	40
Testemunha	0	0	0	0

Tabela 3. Doses (ppm) e fontes dos nutrientes que constituíram a adubação básica.

nutrientes	doses	fontes	nutrientes	doses	fontes
$N^a/$	10	$(NH_4)_2HPO_4$	Cu	3,0	$CuSO_4 \cdot 5 H_2O$
$P^a/$	11	$(NH_4)_2HPO_4$	Mo	0,1	$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$
$K^a/$	25	KCl	Mn	4,0	$MnSO_4 \cdot H_2O$
B	0,15	Bórax	Co	2,5	$CoCl_2 \cdot 6H_2O$

a/ O solo TRE teve como fonte de N e P o produto $NH_4H_2PO_4$; recebeu uma dose de P correspondente a 22 ppm e não recebeu K.

Tabela 4. Principais características dos radioisótopos ^{59}Fe e ^{65}Zn .

Radioisótopo	Meia vida (dias)	Decaimento	Energia dos raios gama (MeV)	Fração de decaimento para raios gama
^{59}Fe	45,1	β^- , γ	1,099	0,56
			1,292	0,44
^{65}Zn	243,6	β^+ , CE, γ	1,116	0,51

Fonte: HEATH (1972).

Tabela 5. Níveis de significância para as fontes de variação, coeficiente de variação (CV) e transformação efetuada nos dados.

Variável	níveis de significância (%)				transf.	CV (%)
	rep.	solo	trat.	soloXtrat.		
Peso da parte aérea	1	1	ns	ns	--	9,1
Peso da raiz	1	1	ns	ns	--	16,9
Peso dos nódulos	ns	1	ns	ns	R	3,3
Número de nódulos	ns	1	ns	ns	R	28,0
Peso de 100 nódulos	5	1	ns	ns	R	2,9
Etileno/g de nódulo	1	1	5	ns	LN	71,8
Etileno/amostra	ns	1	ns	ns	LN	39,4
% de N na parte aérea	1	1	5	ns	AS	4,7
% de N na raiz	ns	1	5	ns	AS	4,8
% N nos nódulos	ns	ns	ns	ns	AS	9,1
% de P na parte aérea	ns	1	ns	ns	AS	4,3
% de P na raiz	ns	1	ns	ns	AS	9,2
% de K na parte aérea	ns	1	5	ns	AS	7,0
% de K na raiz	ns	1	ns	ns	AS	19,9
% de Ca na parte aérea	ns	1	ns	ns	AS	6,7
% de Ca na raiz	1	1	5	ns	AS	7,3
% de Mg na parte aérea	1	1	5	ns	AS	3,9
% de Mg na raiz	ns	1	ns	ns	AS	10,8
ppm de Fe na p. aérea	ns	1	5	ns	LN	2,3
ppm de Fe na raiz	ns	5	ns	ns	LN	4,3

(continua)

Tabela 5. (continuação)

Variável	níveis de significância (%)				transf. efet.	CV (%)
	rep.	solo	trat.	soloXtrat.		
ppm de Zn na p. aérea	1	1	1	1	LN	2,6
ppm de Zn na raiz	ns	1	1	1	LN	3,8
Radioatividade p. aérea	ns	1	1	ns	LN	1,9
Radioatividade raiz	ns	1	1	ns	LN	2,9
Zn p. aer. prov. adubo	ns	1	1	ns	LN	3,3
Zn raiz prov. adubo	ns	1	1	ns	LN	6,1
% Zn ad. na p. aérea	ns	1	1	ns	AS	12,0
% Zn adubo na raiz	5	1	1	5	AS	14,6
% Zn adubo na planta	ns	1	1	ns	AS	11,9

Sendo "x" uma observação temos: $R = \sqrt{x + 1}$; LN = logaritmo neperiano de (x + 1); AS = arco seno $\sqrt{\frac{x}{100}}$.

Tabela 6. Contrastes definidos para análise de regressão.

Contraste	Tratamentos						Test
	Fe ₁	Fe ₂	Zn ₁	Zn ₂	Fe ₁ Zn ₁	Fe ₂ Zn ₂	
Todos x testemunha	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-6
Fe x Zn	+1	+1	-1	-1	0	0	0
Fe ₂ x Fe ₁	-1	+1	0	0	0	0	0
Zn ₂ x Zn ₁	0	0	-1	+1	0	0	0
Fe ₂ Zn ₂ x Fe ₁ Zn ₁	0	0	0	0	-1	+1	0
FeZn x Fe ₀ ou Zn ₀	-1	-1	-1	-1	+2	+2	0

Tabela 7. Níveis de significância (%) e sinais dos contrastes obtidos na análise de regressão.

Contraste	signif.	sinal	signif.	sinal	signif.	sinal
	% N na p.aérea		% de N na raiz		% K na p.aérea	
Todos x testemunha	ns		ns		ns	
Fe x Zn	5	-	1	-	5	+
Fe ₂ x Fe ₁	ns		ns		ns	
Zn ₂ x Zn ₁	5	+	ns		ns	
Fe ₂ Zn ₂ x Fe ₁ Zn ₁	ns		ns		ns	
FeZn x Fe ₀ ou Zn ₀	ns		ns		1	
	% de Ca na raiz		% Mg p.aérea		ppm Fe p.aérea	
Todos x testemunha	ns		1	+	ns	
Fe x Zn	ns		ns		5	-
Fe ₂ x Fe ₁	1	-	ns		ns	
Zn ₂ x Zn ₁	ns		ns		ns	
Fe ₂ Zn ₂ x Fe ₁ Zn ₁	ns		ns		1	+
FeZn x Fe ₀ ou Zn ₀	ns		ns		ns	
	ppm de Zn na parte aérea					
	solo TRE		solo LVE		solo PVA	
Todos x testemunha	1	+	1	+	1	+
Fe x Zn	1	-	1	-	1	-
Fe ₂ x Fe ₁	ns		ns		ns	
Zn ₂ x Zn ₁	1	+	1	+	1	+
Fe ₂ Zn ₂ x Fe ₁ Zn ₁	1	+	1	+	1	+
FeZn x Fe ₀ ou Zn ₀	1	+	1	+	1	+
	ppm de Zn na raiz					
	solo TRE		solo LVE		solo PVA	
Todos x testemunha	ns		ns		1	+
Fe x Zn	ns		1	-	1	-
Fe ₂ x Fe ₁	ns		ns		ns	
Zn ₂ x Zn ₁	ns		1	+	1	+
Fe ₂ Zn ₂ x Fe ₁ Zn ₁	5	+	1	+	1	+
FeZn x Fe ₀ ou Zn ₀	ns		ns		1	+
	radioat.p.aér.		radioat.na raiz		Zn p.a.prov.adubo	
Zn ₂ x Zn ₁	1	+	1	+	1	+
Fe ₂ Zn ₂ x Fe ₁ Zn ₁	1	+	1	+	1	+

continua

Tabela 7. (continuação)

Contraste	signif. sinal		signif. sinal		signif. sinal	
	Zn raiz	prov. ad	% Zn ad.na p.aér.		% Zn ad.na planta	
Zn ₂ x Zn ₁	1	+	1	+	1	+
Fe ₂ Zn ₂ x Fe ₁ Zn ₁	1	+	1	+	1	+
% do Zn do adubo presente na raiz						
	solo TRE		solo LVE		solo PVA	
Zn ₂ x Zn ₁	5	+	1	+	1	+
Fe ₂ Zn ₂ x Fe ₁ Zn ₁	1	+	1	+	1	+

Tabela 8. Peso (g) da parte aérea, raiz e nódulos e número de nódulos.

Tratamento	solo TRE	solo LVE	solo PVA	médias
<u>Peso da parte aérea</u>				
Fe ₁	9,12	5,28	4,37	6,26
Fe ₂	8,59	5,52	4,75	6,29
Zn ₁	9,22	5,68	4,65	6,51
Zn ₂	9,49	5,56	4,29	6,45
Fe ₁ Zn ₁	9,01	5,15	4,48	6,21
Fe ₂ Zn ₂	9,55	5,42	4,49	6,49
Testem.	8,60	5,24	4,21	6,02
Médias	9,08 a	5,41 b	4,46 c	6,32
<u>Peso da raiz</u>				
Fe ₁	0,749	0,971	0,763	0,828
Fe ₂	0,563	0,990	0,966	0,840
Zn ₁	0,805	0,834	0,721	0,787
Zn ₂	0,817	1,007	0,805	0,876
Fe ₁ Zn ₁	0,692	0,815	0,783	0,764
Fe ₂ Zn ₂	0,681	1,060	0,772	0,838
Testem.	0,677	1,049	0,816	0,847
Médias	0,712 b	0,961 a	0,804 b	0,826
<u>Peso dos nódulos</u>				
Fe ₁	0,151	0,143	0,046	0,113
Fe ₂	0,161	0,096	0,129	0,129
Zn ₁	0,149	0,078	0,081	0,103
Zn ₂	0,249	0,090	0,023	0,121
Fe ₁ Zn ₁	0,209	0,139	0,082	0,143
Fe ₂ Zn ₂	0,216	0,151	0,064	0,144
Testem.	0,284	0,086	0,088	0,153
Médias	0,203 a	0,112 b	0,073 b	0,129
<u>Número de nódulos</u>				
Fe ₁	166	184	24	125
Fe ₂	173	115	82	123
Zn ₁	142	74	25	80
Zn ₂	240	142	23	135
Fe ₁ Zn ₁	175	174	45	131
Fe ₂ Zn ₂	177	207	41	142
Testem.	357	90	46	164
Médias	204 a	141 a	41 b	129

As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Duncan.

Tabela 9. Peso (g) de 100 nódulos e nanomoles de etileno evoluído/hora por grama de nódulo e por amostra.

Tratamento	solo TRE	solo LVE	solo PVA	médias
<u>Peso de 100 nódulos</u>				
Fe ₁	0,109	0,076	0,177	0,121
Fe ₂	0,099	0,084	0,152	0,112
Zn ₁	0,117	0,105	0,249	0,157
Zn ₂	0,115	0,066	0,114	0,098
Fe ₁ Zn ₁	0,122	0,082	0,183	0,122
Fe ₂ Zn ₂	0,121	0,071	0,099	0,097
Testem.	0,081	0,096	0,164	0,114
Médias	0,109 ab	0,083 b	0,160 a	0,117
<u>Nanomoles de etileno/g de nódulo</u>				
Fe ₁	44139	143569	34930	74213 a
Fe ₂	139	3100	31849	11697 bc
Zn ₁	649	5360	5500	3837 c
Zn ₂	6539	204786	179329	130219 ab
Fe ₁ Zn ₁	490	11270	14159	8640 bc
Fe ₂ Zn ₂	370	12330	2049	4917 c
Testem.	6560	17089	244639	89430 abc
Médias	8413 b	56787 a	73209 a	46136
<u>Nanomoles de etileno/amostra</u>				
Fe ₁	11343	23198	574	11705
Fe ₂	24	286	2704	1005
Zn ₁	89	432	340	287
Zn ₂	1742	25741	4660	10714
Fe ₁ Zn ₁	84	1821	510	805
Fe ₂ Zn ₂	65	2177	124	789
Testem.	2033	1064	7336	3478
Médias	2197 b	7817 a	2321 ab	4112

As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Duncan.

Tabela 10. Concentração (%) de N na parte aérea, raiz e nódulos.

Tratamento	solo TRE	solo LVE	solo PVA	médias
<u>Concentração de N na parte aérea</u>				
Fe ₁	2,51	2,04	2,38	2,31 b
Fe ₂	2,44	1,95	2,37	2,26 b
Zn ₁	2,66	2,04	2,31	2,34 b
Zn ₂	2,95	2,23	2,71	2,63 a
Fe ₁ Zn ₁	2,57	2,11	2,60	2,42 ab
Fe ₂ Zn ₂	2,83	2,14	2,43	2,47 ab
Testem.	2,70	1,99	2,37	2,35 b
Médias	2,67 a	2,07 c	2,45 b	2,40
<u>Concentração de N na raiz</u>				
Fe ₁	1,77	1,76	1,97	1,83 b
Fe ₂	1,68	1,76	2,26	1,90 b
Zn ₁	1,79	1,86	2,20	1,95 ab
Zn ₂	2,00	1,90	2,47	2,12 a
Fe ₁ Zn ₁	1,81	1,82	2,30	1,97 ab
Fe ₂ Zn ₂	1,92	2,14	2,23	2,09 a
Testem.	1,80	1,93	2,20	1,98 ab
Médias	1,82 b	1,88 b	2,23 a	1,98
<u>Concentração de N nos nódulos</u>				
Fe ₁	3,25	3,34	4,01	3,53
Fe ₂	3,52	3,84	4,23	3,86
Zn ₁	3,76	3,60	3,66	3,67
Zn ₂	3,66	3,34	3,65	3,55
Fe ₁ Zn ₁	3,93	4,16	4,58	4,22
Fe ₂ Zn ₂	3,67	3,93	3,23	3,61
Testem.	3,45	3,37	3,84	3,55
Médias	3,61	3,65	3,89	3,72

As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Duncan.

Tabela 11. Concentração (%) de P e K na parte aérea e raiz.

Tratamento	solo TRE	solo LVE	solo PVA	médias
<u>Concentração de P na parte aérea</u>				
Fe ₁	0,21	0,15	0,18	0,18
Fe ₂	0,22	0,15	0,18	0,19
Zn ₁	0,24	0,16	0,19	0,20
Zn ₂	0,24	0,16	0,21	0,20
Fe ₁ Zn ₁	0,22	0,16	0,18	0,19
Fe ₂ Zn ₂	0,23	0,15	0,18	0,19
Testem.	0,23	0,15	0,18	0,19
Médias	0,23 a	0,15 c	0,19 b	0,19
<u>Concentração de P na raiz</u>				
Fe ₁	0,12	0,08	0,13	0,11
Fe ₂	0,14	0,11	0,15	0,13
Zn ₁	0,13	0,11	0,15	0,13
Zn ₂	0,11	0,08	0,19	0,12
Fe ₁ Zn ₁	0,13	0,10	0,16	0,13
Fe ₂ Zn ₂	0,12	0,10	0,13	0,11
Testem.	0,12	0,11	0,17	0,14
Médias	0,12 b	0,10 c	0,15 a	0,12
<u>Concentração de K na parte aérea</u>				
Fe ₁	1,75	1,15	1,47	1,46 ab
Fe ₂	1,58	1,32	1,63	1,51 a
Zn ₁	1,38	1,15	1,50	1,34 ab
Zn ₂	1,35	1,20	1,42	1,32 ab
Fe ₁ Zn ₁	1,58	1,13	1,08	1,27 b
Fe ₂ Zn ₂	1,47	1,10	1,20	1,26 b
Testem.	1,70	1,08	1,52	1,43 ab
Médias	1,55 a	1,16 b	1,40 a	1,37
<u>Concentração de K na raiz</u>				
Fe ₁	0,65	0,29	0,32	0,42
Fe ₂	0,78	0,42	0,44	0,55
Zn ₁	0,57	0,40	0,50	0,49
Zn ₂	0,42	0,25	0,56	0,41
Fe ₁ Zn ₁	0,71	0,42	0,34	0,49
Fe ₂ Zn ₂	0,64	0,36	0,43	0,48
Testem.	0,66	0,35	0,50	0,50
Médias	0,63 a	0,36 b	0,44 b	0,48

As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Duncan.

Tabela 12. Concentração (%) de Ca e Mg na parte aérea e raiz.

Tratamento	solo TRE	solo LVE	solo PVA	médias
<u>Concentração de Ca na parte aérea</u>				
Fe ₁	1,90	2,53	0,97	1,80
Fe ₂	1,85	2,50	0,93	1,76
Zn ₁	2,25	2,43	0,96	1,88
Zn ₂	1,96	2,50	0,97	1,81
Fe ₁ Zn ₁	1,91	2,60	0,96	1,82
Fe ₂ Zn ₂	1,78	2,64	0,94	1,79
Testem.	1,94	2,54	0,89	1,79
Médias	1,94 b	2,53 a	0,95 c	1,81
<u>Concentração de Ca na raiz</u>				
Fe ₁	1,25	1,37	0,51	1,05 a
Fe ₂	1,00	1,02	0,43	0,82 c
Zn ₁	0,99	1,28	0,52	0,93 abc
Zn ₂	1,01	1,31	0,50	0,94 abc
Fe ₁ Zn ₁	1,04	1,11	0,45	0,86 bc
Fe ₂ Zn ₂	1,09	1,14	0,51	0,92 abc
Testem.	1,31	1,19	0,48	0,99 ab
Médias	1,10 a	1,20 a	0,49 b	0,93
<u>Concentração de Mg na parte aérea</u>				
Fe ₁	0,35	0,54	0,50	0,46 a
Fe ₂	0,36	0,54	0,49	0,46 a
Zn ₁	0,36	0,52	0,51	0,46 a
Zn ₂	0,37	0,49	0,53	0,46 a
Fe ₁ Zn ₁	0,34	0,53	0,48	0,45 a
Fe ₂ Zn ₂	0,37	0,52	0,49	0,46 a
Testem.	0,28	0,52	0,44	0,41 b
Médias	0,35 c	0,52 a	0,49 b	0,45
<u>Concentração de Mg na raiz</u>				
Fe ₁	0,23	0,29	0,18	0,24
Fe ₂	0,26	0,32	0,20	0,26
Zn ₁	0,20	0,33	0,20	0,24
Zn ₂	0,21	0,31	0,23	0,25
Fe ₁ Zn ₁	0,28	0,38	0,24	0,30
Fe ₂ Zn ₂	0,27	0,37	0,25	0,30
Testem.	0,26	0,26	0,22	0,24
Médias	0,24 b	0,32 a	0,22 b	0,26

As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Duncan.

Tabela 13. Concentração (ppm) de Fe e Zn na parte aérea e raiz.

Tratamento	solo TRE	solo LVE	solo PVA	médias
<u>Concentração de Fe na parte aérea</u>				
Fe ₁	508	467	508	494 c
Fe ₂	467	483	633	528 bc
Zn ₁	542	592	575	569 ab
Zn ₂	550	533	575	553 abc
Fe ₁ Zn ₁	492	483	567	514 bc
Fe ₂ Zn ₂	525	575	800	633 a
Testem.	467	475	617	519 bc
Médias	507 b	515 b	611 a	544
<u>Concentração de Fe na raiz</u>				
Fe ₁	4940	3376	4819	4378
Fe ₂	3864	2844	3057	3255
Zn ₁	5466	2869	2959	3765
Zn ₂	5080	4041	3016	4046
Fe ₁ Zn ₁	3271	2529	2976	2925
Fe ₂ Zn ₂	3888	3806	4663	4119
Testem.	3625	3111	3982	3272
Médias	4305 a	3225 b	3510 ab	3680
<u>Concentração de Zn na parte aérea</u>				
Fe ₁	45,3 fg	37,0 g	57,0 def	46,4
Fe ₂	40,0 g	35,3 g	56,0 def	43,8
Zn ₁	55,3 def	70,7 d	186,7 b	104,2
Zn ₂	68,3 de	105,0 c	374,0 a	182,4
Fe ₁ Zn ₁	53,0 ef	71,3 d	180,0 b	101,4
Fe ₂ Zn ₂	68,7 de	109,3 c	331,3 a	169,8
Testem.	46,3 fg	35,3 g	56,0 def	45,9
Médias	53,9 c	66,3 b	177,3 a	99,1
<u>Concentração de Zn na raiz</u>				
Fe ₁	84,0 efg	80,3 efg	111,7 cde	92,0
Fe ₂	80,0 fg	85,7 defg	115,7 cde	93,8
Zn ₁	91,0 defg	101,3 cdef	208,3 b	133,6
Zn ₂	86,7 defg	181,7 bc	445,0 a	237,8
Fe ₁ Zn ₁	84,0 g	102,0 defg	221,0 b	135,7
Fe ₂ Zn ₂	114,3 defg	139,0 bcd	336,0 a	206,4
Testem.	112,7 defg	98,3 defg	126,7 cde	112,6
Médias	93,2 c	112,6 b	227,8 a	144,5

As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Duncan.

Tabela 14. Radioatividade (pCi) do ^{65}Zn por grama de parte aérea e de raiz, percentagem do zinco da parte aérea e da raiz proveniente do adubo e percentagem do zinco do adubo presente na parte aérea, na raiz e na planta inteira.

Tratamento	solo TRE	solo LVE	solo PVA	médias
<u>Radioatividade (pCi/g) do ^{65}Zn na parte aérea</u>				
Zn ₁	8218,6	20733,4	65233,6	31395,2 b
Zn ₂	16048,6	43069,9	163644,5	74254,3 a
Fe ₁ Zn ₁	8817,7	22395,5	67690,9	32968,0 b
Fe ₂ Zn ₂	18446,9	44401,2	145413,5	69420,5 a
Médias	12882,9 c	32650,0 b	110495,6 a	52009,5
<u>Radioatividade (pCi/g) do ^{65}Zn na raiz</u>				
Zn ₁	7476,2	21046,2	48389,7	25637,4 b
Zn ₂	14341,5	44204,3	135075,9	64540,6 a
Fe ₁ Zn ₁	9492,3	23061,6	56592,8	29715,6 b
Fe ₂ Zn ₂	20147,7	38507,4	127342,6	61999,2 a
Médias	12864,4 c	31704,9 b	91850,2 a	45473,2
<u>Percentagem do Zn na p. aérea proveniente do adubo</u>				
Zn ₁	14,88	29,41	34,90	26,40 b
Zn ₂	23,34	41,02	43,50	35,95 a
Fe ₁ Zn ₁	16,71	31,01	37,01	28,24 b
Fe ₂ Zn ₂	26,94	40,62	43,80	37,12 a
Médias	20,47 b	35,51 a	39,80 a	31,93
<u>Percentagem do Zn da raiz proveniente do adubo</u>				
Zn ₁	7,82	19,29	23,66	16,92 c
Zn ₂	16,09	26,66	41,77	28,17 ab
Fe ₁ Zn ₁	13,79	22,76	27,67	21,40 b
Fe ₂ Zn ₂	20,35	28,60	36,74	28,56 a
Médias	14,51 c	24,32 b	32,46 a	23,76

(continua)

Tabela 14. (continuação)

Tratamento	solo TRE	solo LVE	solo PVA	médias
<u>Percentagem do Zn do adubo presente na parte aérea</u>				
Zn ₁	0,770	1,182	3,046	1,666 b
Zn ₂	0,765	1,201	3,483	1,816 a
Fe ₁ Zn ₁	0,798	1,150	2,970	1,640 b
Fe ₂ Zn ₂	0,881	1,212	3,246	1,780 a
Médias	0,804 c	1,186 b	3,186 a	1,725
<u>Percentagem do Zn do adubo presente na raiz</u>				
Zn ₁	0,061 d	0,175 c	0,351 b	0,196
Zn ₂	0,054 cd	0,224 b	0,548 a	0,276
Fe ₁ Zn ₁	0,065 d	0,186 c	0,455 b	0,235
Fe ₂ Zn ₂	0,064 cd	0,205 b	0,491 a	0,253
Médias	0,061 c	0,198 b	0,462 a	0,240
<u>Perc. do Zn do adubo presente na planta inteira</u>				
Zn ₁	0,831	1,357	3,397	1,861 b
Zn ₂	0,820	1,425	4,031	2,092 a
Fe ₁ Zn ₁	0,863	1,336	3,425	1,875 b
Fe ₂ Zn ₂	0,945	1,416	3,737	2,033 a
Médias	0,865 c	1,384 b	3,648 a	1,965

As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Duncan.

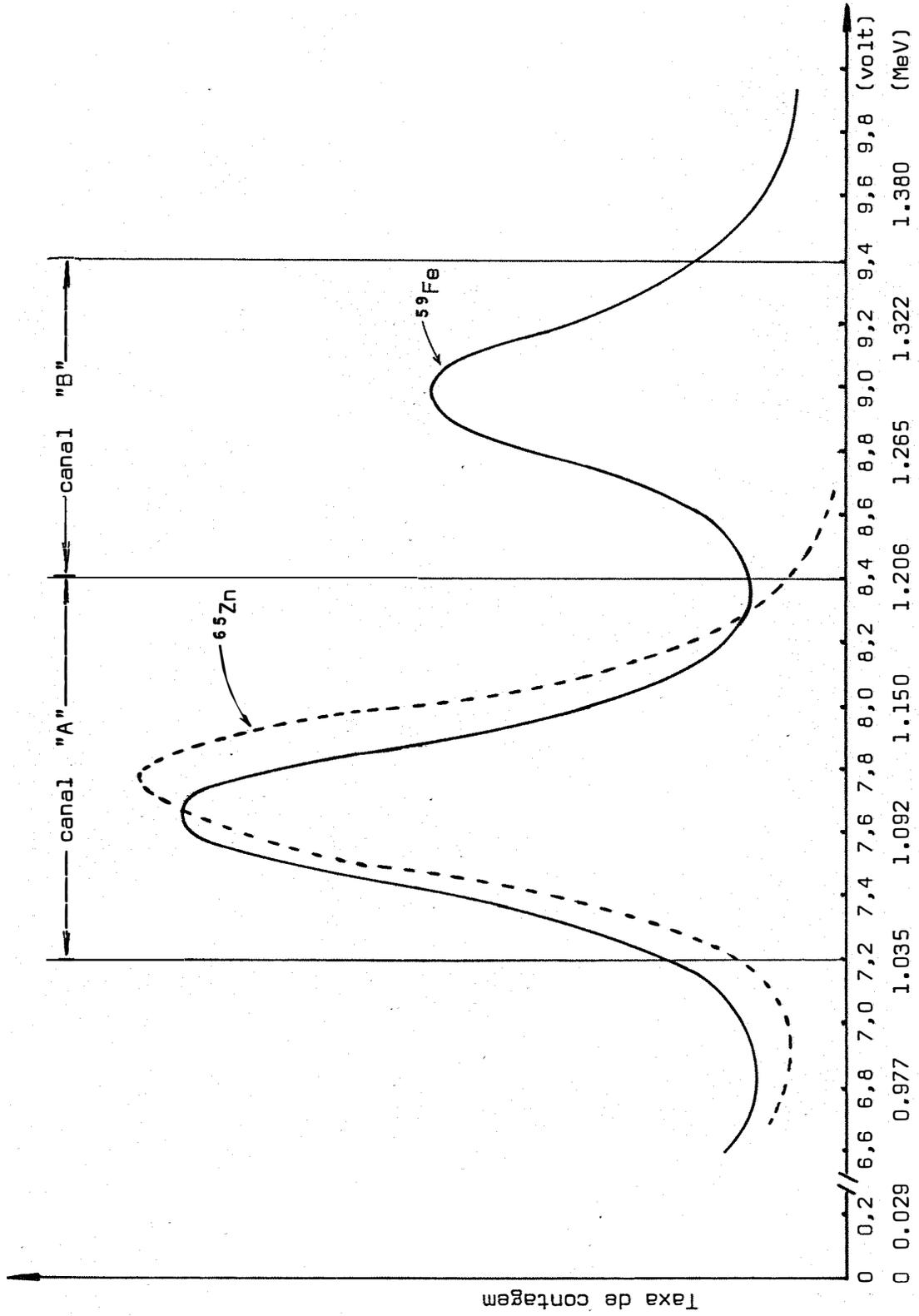


Fig. 1. Espectros de energia dos radioisótopos ^{59}Fe e ^{65}Zn nas regiões dos fotopicos.