

JAMIL CHAAR EL-HUSNY

LIMITAÇÕES NUTRICIONAIS PARA A CULTURA DO FEI-
JOEIRO (**Phaseolus vulgaris** L.) EM UM SOLO DO
NORTE DE MINAS GERAIS

Dissertação apresentada à Escola Superior
de Agricultura de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Pós-Graduação
em Agronomia, área de concentração
Fitotecnia, para a obtenção do grau de
MESTRE.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS - MINAS GERAIS

1992

JAMIL CHAAR ELHUSNY

LIMITAÇÕES NUTRICIONAIS PARA A CULTURA DO FEIJÃO
JOEIRO (Phaseolus vulgaris L.) EM UM SOLO DO
NORTE DE MINAS GERAIS

Trabalho apresentado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) em cumprimento das exigências do Curso de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Fisiologia, para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia.

N.º CLASSIF. _____

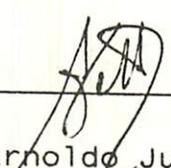


ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS, MINAS GERAIS

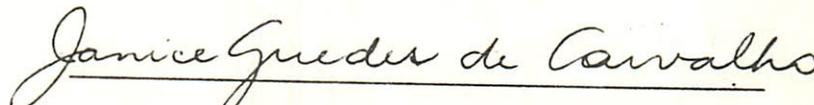
1992

LIMITAÇÕES NUTRICIONAIS PARA A CULTURA DO FEIJOEIRO
(*Phaseolus vulgaris* L.) EM UM SOLO DO
NORTE DE MINAS GERAIS

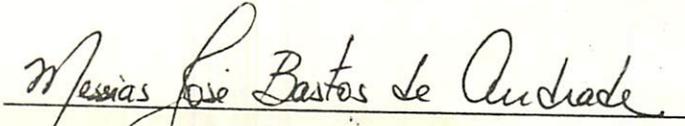
APROVADA: 11/09/1992



Prof. Arnaldo Junqueira Netto
Orientador



Profª Janice Guedes de Carvalho



Prof. Messias José Bastos de Andrade

Aos meus pais Chafic (in memorian) e
Jamile (in memorian), aos meus
irmãos Emir, Samir, Sâmia, Eny,
Rachid, Chafic e Elias,

OFEREÇO.

À minha esposa Auxiliadora, e
às minhas filhas Jamile e Yasmin,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida que nos contempla.

Ao Professor Arnaldo Junqueira Netto e à Professora Janice Guedes de Carvalho, pelas orientações, amizade e apoio; ao Professor Messias José Bastos de Andrade, pelas sugestões.

À Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL, pela oportunidade de realização do curso.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, pela liberação para realização do curso.

À Correntes Agropecuária Ltda., em Jequitaiá-MG, pelo fornecimento do solo utilizado neste trabalho.

Aos meus sogros Eduardo e Maria Ely, pelo apoio e estímulo.

Aos amigos, Sebastião e Rosa, Antônio e Lourdes, Dalton e Ceronir, Eleandro, José Eustáquio, e João Alencar, pelo excelente convívio.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

JAMIL CHAAR EL-HUSNY, filho de Chafic Rachid El-Husny e Jamile Chaar El-Husny, é natural de Belém, Estado do Pará.

Concluiu seus estudos de primeiro e segundo graus, no Colégio Moderno e no Colégio Nossa Senhora de Nazaré, em Belém-PA. Em março de 1981, ingressou na Faculdade de Ciências Agrárias do Pará-FCAP, graduando-se em Engenharia Agrônômica em março de 1985.

Trabalhou no Ministério da Agricultura/Delegacia Federal de Agricultura do Pará, em Belém, no período de março de 1985 a julho de 1987.

Em agosto de 1987, foi contratado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, sendo lotado na Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Territorial - UEPAT de Boa Vista, atual Centro de Pesquisa Agroflorestral da Amazônia - CPAF de Roraima, em Boa Vista, Estado de Roraima, onde continua

lotado.

Em março de 1990, iniciou o Curso de Pós-Graduação, em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, na Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL, em Lavras, Estado de Minas Gerais.

SUMÁRIO

	PÁGINA
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1. Acúmulo de matéria seca e absorção de nutrientes pelo feijoeiro	4
2.2. Extração e exportação de nutrientes	7
2.3. Nutrientes no solo e na planta	9
2.3.1. Nitrogênio	9
2.3.2. Fósforo	10
2.3.3. Potássio	12
2.3.4. Cálcio	13
2.3.5. Magnésio	14
2.3.6. Enxofre	16
2.3.7. Boro	17
2.3.8. Cobre	18
2.3.9. Zinco	19

	PÁGINA
2.3.10. Ferro	21
2.3.11. Manganês	23
2.3.12. Molibdênio	24
2.3.13. Cobalto	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1. Caracterização do local, período e solo	27
3.2. Adubação básica	30
3.3. Cultivar	31
3.4. Delineamento experimental e tratamentos	32
3.5. Instalação e condução	33
3.6. Parâmetros avaliados	34
3.6.1. Solo	34
3.6.2. Planta	34
3.7. Análise estatística	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1. Modificações nas características do solo	36
4.2. Produção de matéria seca	39
4.3. Componentes de produção	44
4.4. Teor e acúmulo de nitrogênio	49
4.5. Teor e acúmulo de fósforo	57
4.6. Teor e acúmulo de potássio	64
4.7. Teor e acúmulo de cálcio	71
4.8. Teor e acúmulo de manganésio	77
4.9. Teor e acúmulo de enxofre	84
4.10. Teor e acúmulo de boro	92

	PÁGINA
4.11. Teor e acúmulo de cobre	98
4.12. Teor e acúmulo de ferro	104
4.13. Teor e acúmulo de manganês	111
4.14. Teor e acúmulo de zinco	117
4.15. Extração e exportação de nutrientes	123
5. CONCLUSÕES	126
6. RESUMO	128
7. SUMMARY	129
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131

LISTA DE QUADROS

QUADROS		PÁGINA
1	Características químicas e físicas da amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo, coletado na camada de 0-20 cm de profundidade no Município de Jequitaiá-MG. ESAL, Lavras-MG, 1991	28
2	Quantidades e fontes de nutrientes utilizadas como adubação de plantio nos tratamentos. ESAL, Lavras-MG, 1991	31
3	Características químicas do solo em estudo (na camada de 0-20 cm de profundidade), coletado no município de Jequitaiá-MG, após ser submetido a aplicação dos tratamentos e ao cultivo do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	37

QUADROS

PÁGINA

4	Resumo das análises de variância para os parâmetros matéria seca de raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, parte aérea e da planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	40
5	Acúmulo de matéria seca nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	41
6	Resumo das análises de variância para os parâmetros peso de 100 grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	45
7	Peso de 100 grãos (13% de umidade), número de vagens por planta e número de grãos por vagem em feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	46
8	Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de nitrogênio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	50
9	Resumo das análises de variância para os parâmetros nitrogênio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG 1991	50

QUADROS

PÁGINA

10	Teor de nitrogênio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	51
11	Nitrogênio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	52
12	Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de fósforo nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	58
13	Resumo das análises de variância para os parâmetros fósforo acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	58
14	Teor de fósforo nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	59
15	Fósforo acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	60

QUADROS

16	Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de potássio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG.1991	65
17	Resumo das análises de variância para os parâmetros potássio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG,1991	65
18	Teor de potássio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	66
19	Potássio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	67
20	Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de cálcio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG. 1991	72
21	Resumo das análises de variância para os parâmetros cálcio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	72

QUADROS

22	Teor de cálcio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	73
23	Cálcio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca, ESAL, Lavras-MG, 1991	74
24	Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de magnésio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG. 1991	79
25	Resumo das análises de variância para os parâmetros magnésio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	79
26	Teor de magnésio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	80
27	Magnésio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro. cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	81

QUADROS

28	Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de enxofre nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	85
29	Resumo das análises de variância para os parâmetros enxofre acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	85
30	Teor de enxofre nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	87
31	Enxofre acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	88
32	Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de boro nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	94
33	Resumo das análises de variância para os parâmetros boro acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	94

QUADROS

PÁGINA

34	Teor de boro nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	95
35	Boro acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	96
36	Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de cobre nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	100
37	Resumo das análises de variância para os parâmetros cobre acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	100
38	Teor de cobre nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	101
39	Cobre acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	102

QUADROS

PÁGINA

40	Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de ferro nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	106
41	Resumo das análises de variância para os parâmetros ferro acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	106
42	Teor de ferro nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	107
43	Ferro acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	108
44	Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de manganês nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	113
45	Resumo das análises de variância para os parâmetros manganês acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	113

QUADROS

PÁGINA

46	Teor de manganês nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	114
47	Manganês acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	115
48	Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de zinco nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	118
49	Resumo das análises de variância para os parâmetros zinco acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	118
50	Teor de zinco nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	120
51	Zinco acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	121

QUADROS

PÁGINA

52	Estimativas da extração e exportação de nutrientes de um Latossolo Vermelho-Amarelo pelo feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991	125
----	--	-----

1. INTRODUÇÃO

A cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) possui grande destaque no Brasil e no mundo, principalmente, no que se relaciona à alimentação humana, por constituir-se em importante fonte protéica.

No quinquênio compreendido entre 1985 e 1989, o rendimento médio da cultura no Brasil obtido foi de 440 kg/ha (FIBGE, 1991); produtividade neste nível é considerada muito baixa para a cultura do feijoeiro, principalmente, diante da extrema necessidade de se incrementar a produção para atender ao crescimento populacional.

Dentre as causas da baixa produtividade e produção estacionária de feijão estão: exigências microclimáticas da cultura, depauperamento dos solos, adubação insuficiente, desequilibrada ou ausente e alta susceptibilidade a pragas e doenças, sendo que os danos provocados ao solo como a alteração das propriedades químicas e físicas, impossibilitando a exploração agrícola, muitas vezes, conduzem os agricultores ao desbravamento de novas áreas, com implicações negativas ao ecossistema.

Quando se procura alcançar maiores produtividades para as culturas, fazem-se necessários estudos multidisciplinares que permitam a viabilização desse objetivo. GIÚDICE et alii (1979) consideram que, apesar do melhoramento de plantas, controle de pragas e doenças, irrigação e drenagem serem importantes no aumento da produtividade, a nutrição mineral adequada das plantas é responsável por 50% do aumento da produtividade.

↘ Segundo RAIJ (1987 e 1991), estudos de avaliação da fertilidade do solo e estabelecimento de níveis de adubação podem ser feitos em vasos em condições de casa-de-vegetação. Entretanto, os resultados não são diretamente extrapoláveis para condições de campo, contudo, é possível exercer maior controle entre os fatores de produção e, assim, elucidar problemas de difícil solução em condições de campo. Além disso, acrescenta o autor, em vasos, é possível abordar um maior número de variáveis, muitas vezes como uma primeira etapa, para realizar ensaios de campo posteriores, já com conhecimentos adquiridos.

A essencialidade de um elemento mineral é determinada pelo atendimento por parte deste aos critérios de essencialidade (MALAVOLTA, 1980 e VITTI, 1988). Considerando que o rendimento de uma cultura é limitado pela ausência ou disponibilidade inadequada de qualquer um dos nutrientes essenciais, ainda que todos os outros estejam disponíveis em quantidades adequadas, é possível afirmar que a omissão de um nutriente essencial afeta o crescimento da planta e a absorção de outros nutrientes; e que a magnitude do efeito causado pela omissão de um nutriente

essencial é inversamente proporcional à reserva deste no solo.

O presente trabalho teve como objetivo, mediante utilização da técnica de diagnose por subtração, determinar os nutrientes limitantes ao crescimento do feijoeiro, em um Latossolo Vermelho-Amarelo do Município de Jequitaiá-MG, medir essas limitações e verificar possíveis interações nutricionais no sistema solo-feijoeiro.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Acúmulo de matéria seca e absorção de nutrientes pelo feijoeiro

Nos primeiros 20 dias após a germinação, o feijoeiro produz apenas 5% da matéria seca total (HAAG et alii, 1967).

Do início do florescimento (30 a 35 dias) até os 50 dias após a emergência, as plantas crescem rapidamente; a partir daí, o crescimento diminui. A diminuição do peso de matéria verde após 50 dias se deve ao secamento da planta (HAAG et alii, 1967).

ROSOLEM (1987) comenta que, durante o florescimento, que compreende o período entre 45 e 55 dias, é que se observa a maior velocidade de produção e de acumulação de matéria seca. Neste período, a cultura de feijão acumula em torno de 67 kg de matéria seca por ha/dia. Na seqüência, diminui a quantidade total de matéria seca pela queda de folhas, sendo que, a partir dos 70 dias novo crescimento da matéria seca é verificado, o que é atribuído ao desenvolvimento dos grãos.

HAAG et alii (1967) observaram que o nitrogênio, o

potássio e o cálcio são absorvidos, próximo à totalidade até os 50 dias, enquanto que o magnésio e o enxofre são absorvidos até os 70 dias; o fósforo continua a ser absorvido até o final do ciclo, embora aos 50 dias após a emergência, as plantas já tenham absorvido 74% da sua necessidade.

ALMEIDA & BULISANI (1980) também mostram que o feijoeiro apresenta um crescimento muito reduzido até o vigésimo dia após a emergência, apresentando, neste período, a absorção de fósforo e potássio muito pequena, ao passo que a de nitrogênio é crescente a partir dos 10 dias; os autores demonstram ainda que, a partir dos 20 dias após a emergência, o crescimento é intensificado, atingindo o máximo entre 60 e 70 dias, iniciando a partir daí, uma fase decrescente.

No período de 33 a 44 dias após o estabelecimento da cultura, segundo GALLO & MIYASAKA (1961), ocorre uma absorção máxima de nitrogênio, com cerca de 2,46 kg de N/ha.dia. CABALLERO et alii (1985) verificaram que a absorção de nitrogênio vai até, aproximadamente, 80 dias após a emergência, o que está de acordo com ROSOLEM (1987), que relata um aumento no peso de 100 sementes com a aplicação de nitrogênio após o florescimento da cultura.

Em relação ao fósforo, a maior velocidade de absorção dá-se dos 30 aos 55 dias, compreendendo o período do aparecimento dos botões florais até o final do florescimento, acentuando-se ainda mais entre 45 e 55 dias, época em que começa a formação das vagens, ocasião em que o feijoeiro absorve cerca de 0,21 kg de P/ha.dia (ROSOLEM, 1987). Para o período de 33 a 44 dias GALLO &

MIYASAKA (1961) determinaram uma absorção de 0,27 kg de P/ha.dia. ROSOLEM (1987) comenta que até os 55 dias, a maior quantidade de fósforo absorvido localiza-se nas folhas e, que a partir deste período, é aparente uma translocação do nutriente das folhas para as vagens.

A maior demanda de potássio pelo feijoeiro ocorre entre 25 e 35 dias, período de diferenciação dos botões florais, quando a absorção média é de 1,69 kg de K/ha.dia e entre 45 e 55 dias, correspondendo ao final do florescimento, com uma demanda média de absorção de 3,29 kg de K/ha.dia (ROSOLEM, 1987). Para o período de 33 a 44 dias, GALLO & MIYASAKA (1961) relatam uma demanda de 2,17 kg de K/ha.dia de potássio.

A absorção de cálcio ocorre intensamente dos 27 aos 55 dias, compreendendo o período da diferenciação floral até o final do florescimento, fase em que a absorção média é de 1,52 kg de Ca/ha.dia (ROSOLEM, 1987).

A velocidade de absorção do magnésio é bastante acelerada a partir dos 45 dias de idade da cultura, de modo que no início da formação das vagens chega a atingir de 1,00 kg de Mg/ha.dia (ROSOLEM, 1987).

O enxofre tem sua velocidade de absorção relativamente alta desde os 25 dias, atingindo sua máxima absorção no final do florescimento, ocasião em que a absorção média chega, aproximadamente, a 0,80 kg de S/ha.dia (ROSOLEM, 1987).

Quanto aos micronutrientes, estudos que demonstrem a marcha de absorção são escassos para cultura do feijoeiro.

Entretanto, respostas à aplicação de micronutrientes são relatadas (JUNQUEIRA NETTO et alii, 1977; BRAGA, 1972 e CORRÊA et alii, 1990). BATISTA et alii (1975) observaram que o plantio das águas determinou maior absorção de micronutrientes, principalmente entre 40 e 60 dias após a emergência das plântulas. Estes autores acrescentam que o cobre e o boro foram absorvidos em todo ciclo vegetativo, enquanto que o zinco e o manganês foram absorvidos até 40 dias.

2.2. Extração e exportação de nutrientes

Ao se estabelecer um programa racional de adubação, faz-se necessário o conhecimento não só do potencial de absorção de nutriente pela planta, que caracteriza a extração de nutrientes, como também da quantidade de nutriente que é retirada do campo de cultivo como produto colhido, o que traduz a exportação de nutrientes.

O potencial produtivo de uma cultivar pode promover variação na quantidade extraída e/ou exportada, ainda que não haja necessariamente correlação entre estes fatores, uma vez que é possível existirem diferenças tanto na eficiência de extração como na utilização dos nutrientes (AMARAL et alii, 1980 e SILVA et alii, 1989).

O comportamento diferencial de cultivares de feijão em

relação às características químicas do solo tem sido observado (BOTELHO, 1986; OLIVEIRA et alii, 1987; SILVA et alii, 1989; ALMEIDA et alii, 1982; BULISANI et alii, 1982; JUNQUEIRA NETTO, 1982; RAMALHO et alii, 1986 e RONZELLI JUNIOR et alii, 1985).

Quanto à tolerância à baixa fertilidade e ao seu potencial de resposta à adubação com nitrogênio, fósforo e potássio, as cultivares podem ser classificadas em: a) cultivares eficientes não-responsivas, aquelas que produzem muito em baixo nível de adubação, mas não respondem ao alto nível; b) cultivares eficientes e responsivas, que produzem muito sob condições de baixo nível de adubação e respondem ao incremento; c) cultivares ineficientes responsivas, que produzem pouco em baixo nível de adubação, porém, respondem ao alto nível; e d) cultivares ineficientes não-responsivas, que produzem pouco, em baixo ou alto níveis de adubação (ROSOLEM, 1987).

De modo geral, em relação à cultura do feijoeiro, há um consenso de que o nitrogênio e o potássio são os nutrientes mais extraídos e mais exportados, seguidos do cálcio, em termos de extração e, depois o enxofre, o magnésio e o fósforo, sendo que o enxofre e o fósforo têm uma exportação maior do que a do magnésio (COBRA NETTO et alii, 1971 e HAAG et alii, 1967).

2.3. Nutrientes no solo e na planta

2.3.1. Nitrogênio

A atmosfera contém aproximadamente 80% de nitrogênio, na forma de N_2 , sendo considerada fonte deste elemento (MALAVOLTA, 1980). No solo, o nitrogênio encontra-se predominantemente na forma orgânica e, também, em uma fração muito pequena, nas formas inorgânicas de amônio (NH_4^+) e, principalmente, de nitrato (NO_3^-) (RAIJ, 1987). Segundo MALAVOLTA (1980), um hectare de solo possui, na profundidade de até 30 cm, entre 1.000 e 1.500 kg de nitrogênio total, com a fração mineral correspondendo a apenas 25 kg.

O nitrogênio pode ser absorvido como aminoácidos, $CO(NH_2)_2$ (uréia), amônio, nitrato e mesmo N_2 , no caso de leguminosas e outras espécies (MALAVOLTA, 1976 e 1980); no entanto, a forma nítrica é predominantemente absorvida. Na planta, a maior parte de nitrogênio encontra-se em formas orgânicas representadas, principalmente, por aminoácidos e proteínas.

Segundo MALAVOLTA (1980), entre os sistemas de fixação biológica do N_2 , o de maior interesse agrícola é constituído pela associação entre bactérias do gênero *Rhizobium* e plantas da família das leguminosas. Relacionados ao feijoeiro, muitos trabalhos têm sido feitos na tentativa de aumentar a eficiência da associação feijoeiro-bactéria na fixação do nitrogênio

atmosférico, mediante o melhoramento do hospedeiro, no caso o feijoeiro e da bactéria (MORAES, 1988). O autor acrescenta ainda sobre progressos neste sentido, entretanto, comenta que a fixação simbiótica não é capaz de atender às necessidades do feijoeiro em nitrogênio, principalmente para produções maiores que 1.000 a 1.500 kg de grãos por hectare.

↘ O nitrogênio é um dos nutrientes aos quais o feijoeiro apresenta maior número de respostas. Plantas com teores de foliares de nitrogênio abaixo de 1% são consideradas deficientes (OLIVEIRA & THUNG, 1988). A deficiência em feijoeiro é caracterizada pela redução no desenvolvimento da planta (WILCOX & FAGERIA, 1976), clorose acentuada nas folhas mais velhas e menos intensa nos folíolos novos, mancha necrótica nas bordas e pontas das folhas, secamento das folhas mais velhas e sistema radicular menos desenvolvido (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985).

2.3.2. Fósforo

Nas regiões tropicais e subtropicais, o fósforo é o elemento cuja carência no solo limita a produção com mais freqüência, principalmente em culturas anuais (MALAVOLTA, 1980). OLIVEIRA & THUNG (1988) comentam que os solos brasileiros, de maneira geral, são deficientes em fósforo.

No solo, o fósforo é um elemento de muito baixa

mobilidade, sendo encontrado como ortofosfatos (RAIJ, 1987). Seu teor total é, em média, de 900 a 1.800 kg/ha, sendo que apenas uma pequena quantidade é considerada disponível, geralmente menos de 5 kg/ha (SILVA, s.d.); nos solos sob cerrado, acrescenta o autor, encontram-se teores abaixo de 1 ppm (2 kg/ha).

Quantidades de aproximadamente 10 kg de fósforo por hectare são suficientes para se atingir produções superiores a 1.000 kg de grãos por hectare (OLIVEIRA & THUNG, 1988); entretanto, os referidos autores comentam que há várias formas de fósforo que as culturas não podem aproveitar diretamente, como é o caso das ligadas ao cálcio, ao ferro e ao alumínio insolúveis.

↘ O fósforo é absorvido pelas plantas predominantemente como íon $H_2PO_4^-$, sendo o transporte no xilema realizado principalmente nesta forma, podendo na seiva bruta, o elemento aparecer como fosforil colina e ésteres de carboidratos. Na redistribuição pelo floema o elemento aparece principalmente como fosforil colina (MALAVOLTA, 1976 e 1980).

↘ A deficiência de fósforo é caracterizada, segundo MALAVOLTA & KLIEMANN (1985), pelo murchamento e clorose, seguidos de manchas necróticas nas vagens e pontas das folhas mais velhas e pela presença de folíolos de coloração verde intensa. O sistema radicular de plantas deficientes em fósforo não apresenta diferença aparente quando comparados a plantas cultivadas em solução nutritiva completa, conforme relata MALAVOLTA et alii (1980). ↘ Em condições de campo, na deficiência desse nutriente, verifica-se retardamento no ponto de colheita e vagens mal

formadas, com reduzido número de grãos (OLIVEIRA & THUNG, 1988).

2.3.3. Potássio

A maior proporção de potássio é encontrada na litosfera na forma de diferentes minerais, principalmente silicatos (MALAVOLTA, 1980).

No solo é encontrado na forma iônica (K^+), forma esta absorvida pelas plantas e que participa da estrutura de micas e minerais de argila do tipo 2:1, encontradas em solos menos intemperizados (RAIJ, 1987).

OLIVEIRA & THUNG (1988) comentam que, embora seja requerido em grandes quantidades, poucos são os ensaios que apresentam respostas à aplicação de doses crescentes de potássio. Segundo GUEDES & JUNQUEIRA NETTO (1978), em Minas Gerais, em solo sob cerrado, respostas à aplicação de potássio são esperadas.

↓ BARBOSA FILHO (1987) relata a participação do potássio na fotossíntese, na respiração, na síntese da clorofila, na síntese de amido e ácidos graxos a partir de acetato derivado da glicólise e acrescenta que a falta de potássio provoca acúmulo de aminoácidos, amidos e nitrogênio solúvel, o que é um indicativo de sua necessidade por parte das enzimas responsáveis pela incorporação de aminoácidos em proteínas.

↓ Sintomas de deficiência de potássio em feijoeiro

aparecem como clorose no ápice das folhas, estendendo-se às margens e, por fim, prolongando-se até o centro da folha. Os internódios ficam mais curtos, as raízes menos desenvolvidas e ocorre falta de pegamento das flores (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985). O crescimento do caule, o número de folhas e a área foliar são reduzidas (WILCOX & FAGERIA, 1976).

2.3.4. Cálcio

O cálcio do solo encontra-se nas formas de carbonatos, silicatos, fosfatos, sulfatos, na matéria orgânica trocável e em solução (MALAVOLTA, 1980). Segundo OLIVEIRA & THUNG (1988), o teor médio crítico considerado para correção é de 3 e.mg Ca^{+2} /100 cm^3 de solo e as exigências do feijoeiro estão em torno de 60 kg de cálcio por hectare.

Aplicação muito pesada deste elemento em solos deficientes em potássio ou magnésio pode acarretar desbalanços nutricionais (SILVA, s.d.). OLIVEIRA & THUNG (1988) relatam que dosagens acima de 4 toneladas por hectare dificultam a absorção de fósforo e da maioria dos micronutrientes.

A absorção de cálcio pelas plantas ocorre como cátion bivalente (Ca^{+2}), sendo o transporte no xilema unidirecional e dependente de energia; o cálcio não se redistribui dentro da planta, razão pela qual diz-se ser este elemento imóvel no floema

(MALAVOLTA, 1976).

O cálcio exerce função estrutural, fazendo parte da parede celular como pectato de cálcio, está ligado à formação e ao funcionamento das membranas celulares, é ativador de algumas enzimas relacionadas ao metabolismo do fósforo e faz parte da amilase (BARBOSA FILHO, 1987). É indispensável para a germinação do grão de pólen e para o crescimento do tubo polínico (MALAVOLTA, 1980). Em baixas concentrações a presença de cálcio estimula a absorção de outros íons, pelo chamado "Efeito Viets", além de contrabalançar em parte, o efeito desfavorável da alta concentração de íons H^+ no meio (CAMARGOS & CARVALHO, 1989). Ao ser aplicado em forma de calcário, o cálcio corrige a acidez do solo e coloca à disposição da planta o nitrogênio, o fósforo, o potássio, o magnésio e o molibdênio, além de reduzir o alumínio ativo.

A deficiência deste elemento se caracteriza por um colapso do pecíolo das folhas mais novas que, murcham e secam e pela morte da gema apical (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985). WILCOX & FAGERIA (1976) relatam ainda o aparecimento de pequena mancha castanha no tecido internerval, devido à ausência do mesófilo.

2.3.5. Magnésio

O magnésio encontra-se no solo nas formas de minerais

primários, carbonatos e sulfatos, minerais secundários, matéria orgânica, trocável e solúvel, sendo estas últimas consideradas disponíveis para as plantas (MALAVOLTA, 1980).

O teor de magnésio trocável no solo varia entre 0,2 e 1,5 e.mg/100 g de solo (MALAVOLTA, 1980) e seu teor total encontra-se na faixa de 1,5 a 34 e.mg/100 g de solo (OLIVEIRA & THUNG, 1988).

A absorção do magnésio pelas plantas se dá na forma de Mg^{+2} ; o magnésio é bastante móvel no floema, sendo sua redistribuição considerada fácil. A intensidade de absorção depende da relação potássio/magnésio, de maneira que se esta for alta, a planta pode ficar deficiente em magnésio (MALAVOLTA, 1976).

Em solos arenosos, de textura grosseira, o conteúdo de magnésio pode ser baixo, em torno de 25 kg/ha a 30 cm; são necessárias quantidades em torno de 20 a 30kg/ha de magnésio para que o feijoeiro tenha seu completo desenvolvimento (OLIVEIRA & THUNG, 1988).

Entre as funções do magnésio destacam-se, segundo BARBOSA FILHO (1987), ser integrante da molécula de clorofila, tendo grande participação na fotossíntese, ser ativador enzimático e funcionar como carregador do fósforo. Na presença de magnésio a absorção de fósforo pelas plantas é acelerada (MALAVOLTA, 1980 e CAMARGOS & CARVALHO, 1989). No metabolismo do nitrogênio, o magnésio participa na reação de transaminação e na síntese de proteína, ativando os aminoácidos e ajudando a manter

a integridade dos ribossomos (BARBOSA FILHO, 1987).

Deficiências de magnésio no feijoeiro manifestam-se através de clorose internerval, seguida de manchas necróticas em folíolos mais velhos, diminuição acentuada no crescimento e ausência de flores (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985).

2.3.6. Enxofre

O enxofre aparece no solo proveniente de sulfetos metálicos fornecidos pela rocha mãe, de restos animais e vegetais e da matéria orgânica, além do SO_2 da atmosfera que é, em parte, oxidado, dando o SO_4^{-2} trazido ao solo pelas chuvas (MALAVOLTA, 1980). São trazidos da atmosfera, através da chuva, cerca de 7 a 60 kg/ha (OLIVEIRA & THUNG, 1988). MALAVOLTA (1980) relata que, no Brasil, o enxofre trazido ao solo pelas chuvas corresponde a cerca de 5-30 kg/ha.ano.

Em áreas de cultura, o enxofre aparece na forma orgânica e como sulfatos solúveis e insolúveis, em um total de concentração na faixa de 0,007 a 0,09% (OLIVEIRA & THUNG, 1988).

O enxofre é absorvido pelas plantas na forma de sulfato que provém, predominantemente, da forma orgânica colocada em disponibilidade pela ação microbiana ou de fertilizantes aplicados. Estima-se que 5 a 10% são aproveitados pela cultura e 20% são adsorvidos pelos colóides de ferro e de alumínio, pelas

argilas e pela matéria orgânica. O feijoeiro requer 25 kg de enxofre por hectare para produzir uma tonelada de grãos (OLIVEIRA & THUNG, 1988). Embora sejam escassos os trabalhos de calibração para o enxofre (ALVAREZ V., 1988), teores no solo na faixa de 10 a 15 ppm podem ser considerados como o nível crítico para este nutriente (FERRARI NETO, 1991 e ROCHA & MALAVOLTA, 1988).

Sintomas de deficiência de enxofre no feijoeiro manifestam-se, segundo MALAVOLTA & KLIEMANN (1985), através do encurvamento e pontuações necróticas nos folíolos mais novos, além de estiolamento.

2.3.7. Boro

O boro é absorvido pela planta na forma de H_3BO_3 e $H_2BO_3^-$, sendo sua fonte mais importante no solo a matéria orgânica que, através da mineralização, coloca-o disponível para as plantas (MALAVOLTA, 1980). A faixa ótima de boro é de 0,5 a 2 ppm extraídos com água quente, a água de irrigação com teores de 2 ppm é considerada prejudicial às plantas e teores inferiores a 0,15 ppm no solo, extraídos por oxalato de amônio, são insuficientes para a nutrição do feijoeiro (OLIVEIRA & THUNG, 1988). LOPES & CARVALHO (1988) definem a faixa crítica para o boro no solo entre 0,4 a 0,6 ppm extraídos em água quente. Nos solos brasileiros os teores de boro encontram-se, geralmente, nas

faixas de 0,06 a 0,5 ppm e 30 a 60 ppm para a quantidade disponível e total, respectivamente (MALAVOLTA, 1980).

Segundo MALAVOLTA (1980), foi demonstrado que o boro influencia a atividade de componentes específicos da membrana celular, aumentando a capacidade da raiz em absorver fósforo, cloro e potássio. A ATPase, ativada por cloreto de potássio, mostra baixa atividade nas raízes de plantas deficientes em boro, e a adição deste elemento também corrige a diminuição na absorção iônica causada por altos níveis do ácido indol acético, decorrente de plantas deficientes em boro.

As deficiências de boro manifestam-se pelo encarquilhamento e pontuações amareladas nos folíolos mais novos, morte da gema terminal, ausência de flores e raízes menos desenvolvidas (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985).

2.3.8. Cobre

O cobre no solo existe, predominantemente, na forma cúprica (Cu^{+2}), aparecendo em maior proporção adsorvido aos minerais de argila, aos hidróxidos de ferro e matéria orgânica (MALAVOLTA, 1980). Seu teor médio no solo é de 20 ppm, extraídos com EDTA 0,05M e o seu nível crítico é de 0,6 ppm (OLIVEIRA & THUNG, 1988). LOPES & CARVALHO (1988) definem a faixa crítica de cobre no solo entre 0,5 a 0,8 ppm, extraídos com HCl 0,05N + H_2SO_4

0,025N (Mehlich 1).

A absorção de cobre dá-se também na forma de Cu^{+2} , sendo que altas concentrações de zinco, fósforo e molibdênio no meio diminuem sua absorção. Por outro lado, altas concentrações de cobre no meio diminuem a absorção de ferro, molibdênio e zinco (MALAVOLTA, 1976 e 1980).

O cobre é componente de várias enzimas; concentra-se, em sua maior parte, nos cloroplastos, integrando a plastocianina (BARBOSA FILHO, 1987). Outras funções do cobre são desempenhadas na síntese de proteína, no metabolismo dos carboidratos e na fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico, uma vez que a nodulação é menor em leguminosas carentes de cobre (MALAVOLTA, 1980).

Plantas deficientes em cobre apresentam uma coloração verde-escura, mostrando lâminas foliares salientes em relação às nervuras; a área foliar apresenta-se reduzida e, embora apresentem desenvolvimento quase normal, a produção de vagens é reduzida (OLIVEIRA & THUNG, 1988).

2.3.9. Zinco

A maior parte do zinco dos solos encontra-se na estrutura cristalina de minerais ferromagnesianos como a augita, a hornblenda e a biotita; uma alta proporção encontra-se em

formas trocáveis na argila e na matéria orgânica (MALAVOLTA, 1980).

O teor médio de zinco no solo é de 50 ppm; entretanto, teores situados na faixa de 4 a 20 ppm são considerados suficientes para as culturas (OLIVEIRA & THUNG, 1988). MALAVOLTA (1980) estabelece, para solos brasileiros, as faixas de 10 a 250 ppm e 1 a 50 ppm para os teores total e solúvel, respectivamente. Por outro lado, LOPES & CARVALHO (1988) estabelecem como faixa crítica para o zinco no solo os teores entre 0,8 a 1,00 ppm, determinados pelo extrator Mehlich 1.

O zinco é absorvido na forma de Zn^{+2} , sendo o processo favorecido por um pH do meio entre 5 e 7 e diminuído com pH igual a 3; o cobre e o ferro em excesso inibem a absorção de zinco; o boro aparentemente estimula a absorção através das raízes, diminuindo por via foliar; o cálcio, em baixas concentrações, aumenta a absorção do zinco, inibindo-a em concentrações mais altas; já o magnésio apresenta um efeito inibidor maior que o do cálcio (MALAVOLTA, 1980). Em relação ao fósforo, altas concentrações deste elemento no meio promovem a "deficiência do zinco induzida pelo fósforo", ou seja, aparecem sintomas de deficiências nas folhas, embora a concentração deste elemento não seja suficientemente baixa, de modo a caracterizar a deficiência (MALAVOLTA, 1976 e 1980).

Segundo MALAVOLTA (1980), as espécies vegetais mostram comportamento diferencial em relação à capacidade de absorção de zinco, sendo o feijoeiro classificado como pouco eficiente.

OLIVEIRA & THUNG (1988) comentam ainda sobre a existência de diferenças varietais em relação às necessidades de zinco.

O zinco é importante para a ativação de várias enzimas e é essencial para síntese do triptofano, precursor do ácido indol acético (AIA), hormônio vegetal promotor do crescimento (MALAVOLTA, 1980 e BARBOSA FILHO, 1987); plantas deficientes em zinco mostram diminuição na síntese de proteína, refletindo em dificuldade no processo de divisão celular (MALAVOLTA, 1980).

Segundo OLIVEIRA & THUNG (1988), deficiências severas de zinco levam a planta a uma redução no crescimento, no número de folhas e na área foliar; as folhas podem tornar-se uniformemente de cor verde-seco, e a floração e a frutificação ficam prejudicadas, refletindo em possível aumento no ciclo da cultura. A toxidez de zinco se manifesta através da diminuição da área foliar, seguida de clorose; o excesso de zinco diminui a absorção de fósforo e ferro (MALAVOLTA, 1980).

2.3.10. Ferro

O ferro é o micronutriente que se apresenta com maior teor no solo (conteúdo total variando entre 2 e 40%) onde ocorre na forma de minerais primários, de minerais secundários, de matéria orgânica, na forma trocável e solúvel (MALAVOLTA, 1980). Para OLIVEIRA & THUNG (1988), os teores de ferro no solo variam

de 3% até valores acima de 30%.

A absorção de ferro pela planta ocorre na forma ferrosa (Fe^{+2}) ou na forma férrica (Fe^{+3}), sendo que neste último caso, aparentemente dá-se a redução na superfície do plasmalema, à custa de elétron fornecido pelo sistema do citocromo ou das flavinas (MALAVOLTA, 1976). O ferro tem sua absorção prejudicada pelo baixo teor de ferro total no solo, por altas concentrações de fósforo, cobre, manganês ou zinco, pelo pH elevado; em condições de excesso de matéria orgânica; através de variações genéticas, uma vez que há espécies e variedades eficientes e ineficientes na absorção de ferro, pelo pH baixo e pela deficiência de potássio, que pode provocar, em gramíneas, acúmulo de ferro nos nós da base da planta, refletindo em carência nas folhas novas (MALAVOLTA, 1980).

O ferro é componente estrutural de várias enzimas, faz parte da leghemoglobina, dos citocromos e da ferredoxina, a qual está envolvida na transferência de elétrons na fotossíntese; o ferro também desempenha funções na síntese da proteína ribossômica e na formação da enzima Fe-quelatase que, por sua vez, tem como função colocar o ferro na cadeia do precursor da clorofila (BARBOSA FILHO, 1987).

A deficiência de ferro é caracterizada pela clorose internerval das folhas mais novas, que mais tarde desenvolvem manchas necróticas, a planta definha e as nervuras permanecem verdes (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985 e OLIVEIRA & THUNG, 1988).

2.3.11. Manganês

O manganês é encontrado no solo nas formas: a) trocável, Mn^{+2} , considerada disponível, em conjunto com o encontrado na solução do solo; b) formando complexo solúvel com ácidos orgânicos; c) na forma de Mn^{+3} , dita "ativa", que é facilmente reduzida, contribuindo para o disponível; e d) como minerais primários, minerais secundários e na matéria orgânica (MALAVOLTA, 1980).

Em solos brasileiros seus teores, segundo MALAVOLTA (1980), variam entre 10 e 4.000 ppm e de 0,1 a 100 ppm para os teores total e solúvel em acetato de amônio, respectivamente. Concentrações acima de 20 ppm são consideradas tóxicas, enquanto que inferiores a 2,5 ppm são insuficientes para as culturas. LOPES & CARVALHO (1988) definem a faixa de 2 a 5 ppm, determinada pelo extrator Mehlich 1, como sendo crítica para o manganês no solo.

A absorção de manganês é prejudicada em condições de pH elevado, excesso de matéria orgânica, altos teores de fósforo, cobre e zinco, em períodos secos e baixas temperaturas do solo. Por outro lado, a toxidez pode ser causada pelo pH muito baixo ou pelo encharcamento (MALAVOLTA, 1980).

O manganês é importante ativador de enzimas que ocorrem no ciclo de Krebs, atua no sistema de transporte de elétrons do fotossistema II e na fotólise da água, participa no metabolismo

do nitrogênio como ativador da redutase do nitrito e, nos cloroplastos, ajuda a manter a estrutura da membrana (BARBOSA FILHO, 1987).

Sintomas de toxidez de manganês em feijoeiro são caracterizados pelo murchamento e encurvamento dos folíolos medianos mais novos, pontuações pardas que coalescem e encarquilhamento e queda das folhas (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985). Sintomas de deficiência manifestam-se com o amarelecimento internerval à semelhança do que ocorre na carência de ferro; no caso do ferro o sintoma aparece como reticulado fino e verde das nervuras, enquanto a carência de manganês faz com que as nervuras e uma estreita faixa dos tecidos ao longo das mesmas permaneça verde, formando um reticulado grosso (MALAVOLTA, 1980).

2.3.12. Molibdênio

O molibdênio aparece no solo na forma de minerais primários e secundários, adsorvido a óxidos hidratados de ferro e alumínio, na matéria orgânica e solúvel em água (MALAVOLTA, 1980). Seu teor médio no solo é de 2 ppm, sendo que teores abaixo de 0,15 ppm são considerados insuficientes para as plantas (OLIVEIRA & THUNG, 1988). LOPES & CARVALHO (1988) estabelecem a faixa de 0,1 a 0,2 ppm de molibdênio, extraídos com oxalato de amônio pH 3,3, como a faixa crítica para este nutriente no solo.

Em condições de pH igual ou maior que 5, o molibdênio é absorvido predominantemente como MoO_4^{-2} ; o aumento na concentração de fósforo no substrato conduz uma maior absorção e transporte do molibdênio das raízes para a parte aérea (MALAVOLTA, 1980).

A função do molibdênio na planta reside, basicamente, na sua participação nas estruturas das enzimas redutase do nitrato e nitrogenase (BARBOSA FILHO, 1987).

No caso do feijoeiro, a aplicação de molibdênio em pequenas quantidades, sozinho ou combinado a elementos como o cálcio, boro, cobalto, cobre e fósforo, têm proporcionado aumentos na produção, no número de nódulos, nos teores de nitrogênio, proteínas, aminoácidos, carboidratos, caroteno, clorofila e ácido ascórbico; a aplicação de molibdênio aumenta também a percentagem de nitrogênio e fósforo nas folhas e, quando aplicado na ausência de fósforo, aumenta a concentração de potássio nos talos e nas vagens (OLIVEIRA & THUNG, 1988).

2.3.13. Cobalto

O teor de cobalto no solo varia entre 1 e 40 ppm (MALAVOLTA, 1980), estando, entretanto, seu teor médio total no solo em torno de 8 ppm; concentrações em torno de 0,25 ppm, extraídos pelo ácido acético 0,5N, são consideradas como nível

crítico para as culturas (OLIVEIRA & THUNG, 1988).

O cobalto é aparentemente absorvido como Co^{+2} , sendo que excesso deste elemento no meio diminui a absorção de ferro e manganês (MALAVOLTA, 1980).

O cobalto é essencial para a fixação de nitrogênio atmosférico por bactérias de vida livre, por algas azuis, verdes e por sistemas simbióticos (MALAVOLTA, 1980); está associado aos teores de vitamina B_{12} e de leghemoglobina nos nódulos (OLIVEIRA & THUNG, 1988).

Deficiências de cobalto não têm sido registradas, entretanto, respostas à sua aplicação têm sido relatadas (JUNQUEIRA NETTO & ABREU, 1982 e CORRÊA et alii, 1990).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do local, período e solo

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), no período de março a junho de 1991.

O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA/SUDENE, 1979), procedente do município de Jequi-tai, localizado no Norte de Minas Gerais. A área de coleta deste solo encontrava-se incorporada ao processo produtivo, sob pivô central, sendo cultivada com a cultura do feijoeiro. As características químicas e físicas do solo empregado são apresentadas no Quadro 1. Essas características permitem definir sua classe textural como média (VIEIRA et alii, 1988 e LOPES, 1989). Relacionado à sua fertilidade, a acidez é fraca e os teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio são altos, assim como a soma de bases trocáveis (SB) e a CTC efetiva (t); são médios a CTC a pH 7,0 (T) e os teores de carbono e matéria orgânica; e são baixos o teor de alumínio trocável e a acidez potencial (COMISSÃO

QUADRO 1 - Características químicas e físicas da amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo, coletado na camada de 0-20 cm de profundidade no Município de Jequitaiá - MG, Lavras-MG, 1991.

Características	Valores
Químicas: ¹	
pH em água	6,0
P (ppm)	64,0
K (ppm)	103,0
Ca (meq/100 cc)	5,4
Mg (meq/100 cc)	1,5
Al (meq/100 cc)	0,0
Acidez potencial - H + Al (meq/100cc)	2,3
Soma de Bases - SB (meq/100 cc)	7,2
CTC efetiva - t (meq/100 cc)	7,2
CTC a pH 7 - T (meq/100 cc)	9,5
Saturação de Al - m (%)	0,0
Saturação de Bases - V (%)	76,0
Carbono (%)	1,7
Matéria orgânica (%)	3,0
S (ppm)	6,49
B (ppm)	0,26
Cu (ppm)	0,40
Fe (ppm)	35,10
Mn (ppm)	47,00
Zn (ppm)	4,07
Físicas: ²	
Areia grossa (%)	8,0
Areia fina (%)	54,0
Silte (%)	14,0
Argila (%)	24,0
Densidade de partícula - dp (g/cm) ²	2,74
Densidade do solo - ds (g/cm) ³	0,98
Classe textural média	

¹ Análises realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da ESAL, Lavras-MG.

² Análises realizadas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Ciência do Solo da ESAL, Lavras-MG.

DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 1989). Quanto aos micronutrientes, os teores de manganês e zinco determinados encontram-se acima das faixas críticas consideradas por LOPES & CARVALHO (1988), enquanto que os de boro e cobre encontram-se abaixo. Salienta-se que os extratores utilizados neste trabalho ($\text{HCl } 0,05\text{N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025\text{N}$ para o cobre, manganês e zinco e água quente para o boro) coincidem com os extratores citados pelos autores para determinação destes nutrientes. O teor de ferro inclui-se na amplitude de níveis críticos apresentados por LOPES & CARVALHO (1988), embora o $\text{HCl } 0,05\text{N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025\text{N}$, utilizado nesta determinação, não tenha sido utilizado por aqueles autores.

ROCHA & MALAVOLTA (1988), relatam que o enxofre disponível (SO_4^{-2}) no solo geralmente não excede 10 a 15 ppm, sendo freqüentemente menor, 5 a 10 ppm, principalmente nos solos de cerrado da Região Centro-Oeste, de modo que, nessas condições, existe grande possibilidade de resposta ao seu uso. FERRARI NETO (1991) comenta que respostas à aplicação de enxofre possuem grande possibilidade de ocorrer na presença de teores de SO_4^{-2} menores que 15 ppm, principalmente, em solos pobres em matéria orgânica. Neste contexto, o solo deste estudo apresenta possibilidade de responder à aplicação de enxofre. Entretanto, é importante ressaltar que a carência de trabalhos de calibração dificulta a definição de níveis críticos para este nutriente no solo (ALVAREZ V., 1988).

3.2. Adubação básica

A adubação de plantio seguiu a recomendação de MALAVOLTA & MURAOKA (1985) para adubações em vasos, para experimentos em casa-de-vegetação, tendo sido feitas algumas adaptações. O Quadro 2 apresenta as quantidades e fontes de nutrientes utilizadas como adubação de plantio, em vasos com 3,3 kg de solo.

À exceção do sal, fonte de fósforo, que foi previamente incorporado ao solo, os nutrientes foram aplicados via solução nutritiva, após o estabelecimento das plântulas e desbaste.

Aos 30 dias após a emergência das plântulas foi realizada uma adubação de cobertura, com 594 mg de N e 330 mg de K por vaso, utilizando-se, respectivamente, uréia e cloreto de potássio como fontes. Nos tratamentos em que se omitiu o nitrogênio e o potássio, não houve a cobertura com os respectivos nutrientes.

QUADRO 2 - Quantidades e fontes de nutrientes utilizadas como adubação de plantio nos tratamentos. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Nutriente	mg/3,3 kg solo	Fonte
N	330	Uréia - NH_2CONH_2
P	330	Fosfato de cálcio monobásico- $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
K	165	Cloreto de potássio - KCl
S e Mg	120 e 99	Sulfato de magnésio - MgSO_4
Mg	99	Nitrato de magnésio - $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$
B	1,65	Ácido bórico - H_3BO_3
Cu	0,825	Sulfato de cobre - CuSO_4
Mo	0,33	Óxido de molibdênio - MoO_3
Zn	8,25	Sulfato de zinco - $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Co	$0,25 \times 10^{-3}$	Sulfato de cobalto - $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

¹ Nos tratamentos, a omissão de um nutriente implicou na completa ausência desse na adubação de plantio.

3.3. Cultivar

A cultivar utilizada foi a Carioca, que possui um crescimento indeterminado do tipo III e ciclo médio de 85

dias. A escolha dessa baseou-se no fato de ser a mais plantada no Brasil e, conseqüentemente, de mais fácil comercialização.

3.4. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições. Os tratamentos, em número de 11, fundamentaram-se na técnica do elemento faltante ou de diagnose por subtração (MALAVOLTA & MURAOKA, 1985) e foram constituídos da seguinte maneira:

1. adubação completa (completo)
2. solo natural (testemunha)
3. adubação completa com a omissão de nitrogênio (-N)
4. adubação completa com a omissão de fósforo (-P)
5. adubação completa com a omissão de potássio (-K)
6. adubação completa com a omissão de enxofre (-S)
7. adubação completa com a omissão de boro (-B)
8. adubação completa com a omissão de cobalto (-Co)
9. adubação completa com a omissão de cobre (-Cu)
10. adubação completa com a omissão de molibdênio(-Mo)
11. adubação completa com a omissão de zinco (-Zn).

Cada parcela foi constituída por um vaso plástico sem orifício, com capacidade para 3,3 kg de solo, contendo duas

plantas.

3.5. Instalação e condução

O solo foi coletado na camada arável (0-20 cm), sendo, posteriormente, seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 5 mm de malha. Em seguida, foi retirada uma amostra para as análises de fertilidade do solo de rotina e para determinação dos teores de enxofre, boro, cobre, manganês, zinco e ferro.

As determinações de cálcio + magnésio, cálcio e alumínio foram realizadas após extração com KCl 1N; o fósforo, potássio, zinco, cobre, ferro e manganês foram extraídos pelo HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025 (Mehlich 1). O enxofre foi extraído com Ca(H₂PO₄)₂ 500 ppm de P e a extração do boro foi feita com água quente.

Na semeadura, utilizaram-se 5 sementes por vaso, realizando-se o desbaste 15 dias após a semeadura, deixando-se duas plantas por vaso.

Na irrigação foi utilizada água desmineralizada, sendo o controle da irrigação realizado pelo método da pesagem, com umidade em torno de 60% do volume total de poros, calculado pela equação de VOMOCIL (1965).

3.6. Parâmetros avaliados

3.6.1. Solo

Após ser submetido à aplicação dos tratamentos e ao cultivo do feijoeiro, o solo dos vasos foi novamente analisado.

3.6.2. Planta

a) Matéria seca de raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, parte aérea e planta.

b) Teor e acumulação de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco em todas as partes do item anterior. Os resultados de acúmulo obtidos para o tratamento completo em duas plantas permitiram a determinação das quantidades de nutrientes extraídas e exportadas. Os dados foram extrapolados para uma população de 240 mil plantas por hectare.

c) Componentes de produção: peso de 100 sementes, número de vagens por planta e número de grãos por vagem.

O material vegetal foi seco em estufa com circulação de ar, a 70°C até peso constante, ocasião em que obteve-se o peso da matéria seca.

Os teores de nutrientes na matéria seca das partes vegetais foram determinados da seguinte maneira (MALAVOLTA et alii, 1989): o nitrogênio pelo método Kjeldhal e os demais (fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco) através de digestão nitroperclórica e posterior determinação no extrato, onde o fósforo foi determinado por colorimetria, o potássio por fotometria de chama, o enxofre por turbimetria, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco por espectrofotometria de absorção atômica e o boro por colorimetria de curcumina.

A quantidade de nutrientes, acumulada nas partes vegetais, foi calculada com base no teor destes e na produção de matéria seca.

O peso de 100 sementes foi ajustado para 13% de umidade de acordo com o método utilizado por GARCIA (1990).

3.7. Análise estatística

As análises estatísticas do experimento foram realizadas de acordo com GOMES (1987).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Modificações nas características do solo

O Quadro 3 apresenta os dados médios para as características químicas do solo em estudo, após ter sido submetido à aplicação dos tratamentos e ao cultivo do feijoeiro.

As leguminosas tendem a acidificar o solo, liberando íons hidrogênio na rizosfera, a fim de manter o equilíbrio iônico dentro da planta. Desse modo, essa característica das leguminosas, pode justificar a elevação na acidez potencial ($H + Al$), a elevação na percentagem de saturação de alumínio (m) e a diminuição na percentagem de saturação de bases (V), determinadas no solo natural pelo cultivo do feijoeiro. Por outro lado, o aumento na CTC a pH 7,0 (T) na testemunha pode ser atribuído à elevação no teor de matéria orgânica no solo, que era médio e, após o cultivo passou a ser alto (Quadros 1 e 3).

A redução do pH, exceto na testemunha, que promoveu a passagem de uma acidez fraca para média (Quadros 1 e 3), pode ser justificada pelo efeito conjunto da elevação na percentagem de

alumínio e da extração de bases pelo feijoeiro.

QUADRO 3 - Características químicas do solo em estudo (na camada de 0-20 cm de profundidade) coletado no município de Jequitaiá-MG, após ser submetido à aplicação dos tratamentos e ao cultivo do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Características	Tratamentos										
	Completo	Solo natural (test.)	-N	-P	-K	-S	-B	-Co	-Cu	-Mo	-Zn
pH em água	5,9	6,0	5,1	5,7	5,8	5,9	5,7	5,9	5,8	5,8	5,8
P (ppm)	68,0	34,0	73,0	29,0	62,0	76,0	63,0	68,0	68,0	63,0	62,0
K (ppm)	46,0	28,0	52,0	65,0	17,0	87,0	52,0	51,0	39,0	42,0	52,0
Ca (meq/100 cc)	5,0	4,9	4,9	4,6	4,9	4,9	5,0	5,0	4,9	4,8	5,0
Mg (meq/100 cc)	1,4	1,4	1,5	1,4	1,2	1,7	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4
Al (meq/100 cc)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
H + Al (meq/100 cc)	3,5	3,5	3,7	3,7	4,7	3,6	3,4	3,3	3,8	3,7	3,8
SB (meq/100 cc)	6,5	6,4	6,6	6,2	6,2	6,8	6,5	6,6	6,4	6,4	6,5
t (meq/100 cc)	6,6	6,5	6,7	6,4	6,3	6,9	6,6	6,6	6,5	6,4	6,6
T (meq/100 cc)	9,8	9,9	10,3	9,9	9,9	10,4	9,9	9,9	10,2	10,1	10,3
m (%)	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0
V (%)	65,0	64,0	64,0	63,0	62,0	66,0	66,0	66,0	62,0	63,0	63,0
Carbono (%)	2,0	1,8	2,0	2,0	1,9	1,9	2,0	1,9	2,0	1,9	2,0
Matéria orgânica (%)	3,3	3,2	3,4	3,5	3,2	3,4	3,4	3,3	3,4	3,3	3,5
S (ppm)	14,81	2,58	19,54	20,85	8,85	3,93	17,76	11,19	16,02	16,66	12,81
B (ppm)	0,21	0,16	0,22	0,26	0,20	0,25	0,19	0,19	0,22	0,22	0,21
Cu (ppm)	0,82	1,68	1,12	1,18	3,13	9,00	1,00	1,75	1,28	1,45	0,85
Fe (ppm)	29,20	38,80	31,08	27,22	29,75	43,50	27,58	33,05	34,35	31,15	27,00
Mn (ppm)	49,62	49,38	47,18	49,00	45,70	66,58	51,00	53,45	49,58	49,48	46,02
Zn (ppm)	3,50	2,50	3,20	3,70	3,40	4,10	3,10	3,40	3,50	3,50	2,00

¹ Análises realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da ESAL, Lavras-MG.

O teor de fósforo no solo permaneceu alto após o cultivo em todos os tratamentos, exceto quando não ocorreu o suprimento de fósforo onde verificaram-se decréscimos no seu teor (Quadro 3).

Em relação ao potássio, o seu teor inicial no solo era alto (Quadro 1), passou a ser médio após o cultivo, em todos os casos, à exceção da testemunha e do tratamento que omitiu o potássio, onde o teor passou a ser baixo (Quadro 3). Ressalta-se que a redução no teor de potássio no solo pode ter contribuído para a diminuição na soma de bases trocáveis, verificada em todos os tratamentos após o cultivo.

Os teores de cálcio e de magnésio no solo permaneceram altos após o cultivo; entretanto, onde se omitiu o potássio, houve uma diminuição no teor de magnésio comparado aos outros tratamentos (Quadro 3).

Nos tratamentos em que se omitiu o enxofre, verificaram-se os menores teores deste nutriente após o cultivo (Quadro 3); entretanto, onde ocorreu o suprimento de enxofre, os teores superaram ou aproximaram-se de 10 ppm, teor considerado como nível crítico para este nutriente no solo (LOPES & GUILHERME, 1992).

Em relação aos micronutrientes, o cobre e o manganês tiveram acréscimos nos seus teores no solo (Quadros 1 e 3). É possível que a diminuição no pH tenha exercido alguma influência na definição deste resultado, pois sabe-se que a elevação do pH determinada pela calagem pode diminuir a disponibilidade de

micronutrientes, exceto a do molibdênio (BATAGLIA, 1988 e RAIJ, 1991).

O teor de boro no solo remanescente ao cultivo (Quadro 3) diminuiu quando comparado ao teor no solo antes do plantio (Quadro 1), com uma redução mais acentuada no tratamento em que não ocorreu o suprimento deste nutriente.

4.2. Produção de matéria seca

As análises de variância são apresentadas no Quadro 4 e demonstram efeito significativo dos tratamentos sobre a quantidade de matéria seca de todas as partes consideradas.

No Quadro 5, são apresentadas as médias referentes à matéria seca de raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, da parte aérea e planta inteira do feijoeiro, considerando duas plantas por vaso (parcela).

A maior quantidade de matéria seca de raízes ocorreu na testemunha (solo natural) e a adubação completa apresentou uma menor quantidade de matéria seca de raízes; uma vez que a situação foi inversa para o conteúdo de matéria seca da parte aérea, o fato sugere um efeito sobre a relação parte aérea/raiz. Uma razão que pode explicar o ocorrido na testemunha, relaciona-se ao alto teor de cálcio no solo, que teria proporcionado um melhor desenvolvimento do sistema radicular, o que, aliado ao

QUADRO 4 - Resumo das análises de variância para os parâmetros matéria seca de raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, da parte aérea e da planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	0,09*	1,04	0,63	6,27	10,80	11,15
Tratamentos	10	0,49**	29,12**	4,19**	117,96**	318,05**	296,61**
Resíduo	30	0,02	0,64	0,55	2,27	4,76	4,73

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

efeito detrimental da marcante deficiência de enxofre na matéria seca da parte aérea, refletiu na referida relação. Outro aspecto que deve ser considerado, refere-se à distribuição de assimilados, pois quando os drenos não são eficientes, em decorrência de distúrbios fisiológicos, os assimilados passam a suprir outras partes da planta (PORTES, 1988). O efeito depressivo na matéria seca de raízes, causado pela omissão de boro, reflete uma possível deficiência do elemento no solo, concordando, portanto, com sintomas descritos por MALAVOLTA &

QUADRO 5 - Acúmulo de matéria seca nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Matéria seca (g/vaso com duas plantas)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	0,77 cd	14,80 ab	6,63 a	26,68 a	48,11 a	48,88 a
Solo natural (testemunha)	1,88 a	6,99 e	3,17 b	8,32 d	18,48 e	20,36 e
- N	0,85 cd	12,05 cd	5,51 a	22,84 b	40,40 c	41,25 c
- P	1,31 b	12,67 c	6,30 a	22,81 b	41,78 bc	43,09 bc
- K	1,13 bc	14,86 ab	5,75 a	21,39 b	42,01 bc	43,13 bc
- S	1,30 b	10,47 d	4,89 ab	13,16 c	28,52 d	29,82 d
- B	0,70 d	15,12 ab	6,26 a	22,42 b	43,80 abc	44,50 abc
- Co	0,81 cd	13,87 bc	6,32 a	24,06 ab	44,05 abc	44,86 abc
- Cu	0,83 cd	15,33 ab	6,38 a	23,61 ab	45,32 abc	46,15 abc
- Mo	0,81 cd	15,55 ab	6,41 a	23,29 ab	45,25 abc	46,06 abc
- Zn	1,01 bcd	15,69 a	6,54 a	24,24 ab	46,47 ab	47,49 ab
C.V. (x)	14,78	5,98	12,72	7,13	5,24	5,25

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

KLIEMANN (1985), WILCOX & FAGERIA (1976), OLIVEIRA & MALAVOLTA (1981) e OLIVEIRA et alii (1982a).

A omissão de micronutrientes não afetou a matéria seca de folhas + ramos + caule. Entre os macronutrientes, somente a omissão de potássio não causou efeito depressivo nesta característica, os demais (fósforo, nitrogênio e enxofre), face à sua falta, influenciaram negativamente esta característica, havendo uma tendência decrescente nos conteúdos de matéria seca na seqüência referida. A testemunha apresentou a menor quantidade de matéria seca de folhas + ramos + caule.

Em relação a vagens debulhadas, no tratamento sem o enxofre e na testemunha a quantidade de matéria seca foi afetada, o mesmo ocorrendo em relação a grãos. Os tratamentos onde se omitiu nitrogênio, fósforo, boro e potássio também demonstraram redução na matéria seca de grãos. O maior conteúdo de matéria seca neste parâmetro foi obtido pela adubação completa e a falta dos micronutrientes, à exceção do boro, não influenciou a matéria seca de grãos.

Outros autores chegaram a resultados semelhantes. BRAGA (1972), estudando a resposta do feijoeiro à aplicação de enxofre, boro e molibdênio, verificou que a ausência de boro afetou mais a produção, seguida pela do enxofre. MIYASAKA et alii (1965 a, b, 1966 a, b, c, d, e), demonstraram maior número de respostas ao fósforo, seguido pelo nitrogênio, sendo que, de modo geral, os resultados destes estudos evidenciaram que a falta dos nutrientes nos solos e a falta de adubação, determinaram a baixa produção de

grãos.

Quanto ao potássio, a maioria dos autores relata serem pouco freqüentes respostas à sua aplicação no Brasil, sendo a principal razão atribuída ao fato de que a maioria dos solos onde o feijoeiro é tradicionalmente plantado, possui teores suficientes para atender às exigências da cultura (MALAVOLTA, 1971; PARRA et alii, 1980; MORAES, 1988; OLIVEIRA & THUNG, 1988 e ROSOLEM, 1987). Segundo OLIVEIRA & THUNG (1988), a pequena resposta do feijoeiro ao potássio contrasta com as características dos solos brasileiros que apresentam, predominantemente, na constituição de suas frações de areia, limo e argila, minerais que, segundo LOPES (1982), indicam baixo potencial de liberação do potássio a longo prazo. Em solos sob cerrado, segundo GUEDES & JUNQUEIRA NETTO (1978), respostas à aplicação deste nutriente são esperadas. Nas condições do presente estudo, embora o teor de potássio seja alto, os resultados sugerem a possibilidade de que o nível crítico para o nutriente não tenha sido alcançado.

A matéria seca da parte aérea e a da planta inteira tiveram efeitos notadamente depressivos na testemunha e na omissão de enxofre e apresentaram os maiores valores em presença da adubação completa; a omissão de micronutrientes não promoveu declínio nestas características. A exclusão de macronutrientes apresentou um efeito no sentido de diminuição da matéria seca da parte aérea e da planta inteira na seqüência de tratamentos: menos potássio < menos fósforo < menos nitrogênio. COBRA NETO et

e MALAVOLTA et alii (1980), trabalhando com solução obtiveram a maior produção total de matéria seca do adubação completa, sendo este tratamento sucedido, pelos tratamentos menos enxofre, menos potássio, menos fósforo e menos nitrogênio. Avaliando as limitações nutricionais para o feijoeiro em um solo de média fertilidade, DYNIA & CUNHA (1986) não obtiveram resposta a micronutrientes, porém, verificaram severas limitações de nitrogênio, fósforo e enxofre. ALMEIDA et alii (1973), estudando os efeitos da adubação fosfatada e nitrogenada na nodulação e produção do feijoeiro, verificaram ação significativa somente do fósforo sobre o aumento de peso da matéria seca da planta. FONTES (1972), em trabalho semelhante, verificou efeitos significativos da aplicação de nitrogênio e de fósforo sobre a produção de matéria seca do feijoeiro.

4.3. Componentes de produção

As análises de variância são apresentadas no Quadro 6, e demonstram efeito significativo dos tratamentos sobre todos os componentes.

QUADRO 6 - Resumo das análises de variância para os parâmetros peso de 100 grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem, do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio		
		Peso de 100 grãos	Nº vagens/planta	Nº de grãos/vagem
Blocos	3	0,44	3,43	0,07
Tratamentos	10	23,30**	24,57**	0,32**
Resíduo	30	3,75	1,47	0,11

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

No Quadro 7 são apresentados os valores médios referentes ao peso de 100 grãos (13% de umidade), número de vagens por planta e número de grãos por vagem.

Os maiores pesos de 100 grãos ocorreram nos tratamentos onde se omitiu nitrogênio, fósforo, zinco e boro. Embora estatisticamente iguais a outros tratamentos, os menores pesos de 100 grãos corresponderam às omissões de enxofre e de potássio.

Quanto ao número de vagens por planta, as omissões de enxofre e de nitrogênio, além da testemunha, corresponderam aos menores valores, sendo que os demais tratamentos não apresentaram diferenças significativas. Embora, estatisticamente, as diferenças em relação ao número de grãos por vagem não tenham

QUADRO 7 - Peso de 100 grãos (13% de umidade), número de vagens por planta e número de grãos por vagem em feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Peso de 100 grãos (g)	Nº de vagens/planta	Nº de grãos/vagem
Completo	23,76 bc	12,63 a	4,81 ab
Solo natural (test.)	23,24 bc	4,38 d	4,56 ab
- N	29,26 a	8,12 c	5,33 a
- P	25,27 ab	11,13 abc	4,67 ab
- K	19,64 c	11,88 a	5,09 ab
- S	21,72 bc	8,25 bc	4,31 b
- B	25,08 ab	11,25 ab	5,00 ab
- Co	23,24 bc	11,50 a	5,04 ab
- Cu	22,95 bc	12,13 a	4,92 ab
- Mo	23,86 bc	11,75 a	4,72 ab
- Zn	25,17 ab	11,38 a	5,08 ab
CV (%)	8,10	11,68	6,81

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

ocorrido com grande evidência, a omissão de nitrogênio apresentou maior valor neste parâmetro, enquanto que a falta de enxofre apresentou o menor. A testemunha e a ausência de fósforo também demonstraram, aparentemente, redução no número de grãos por vagem.

Embora a omissão de nitrogênio tenha promovido a diminuição da matéria seca da parte aérea, esta omissão não afetou com grande severidade, a matéria seca dos grãos (Quadro 5). Este fato, provavelmente, decorreu em função da falta deste nutriente ter proporcionado o maior peso de 100 grãos e número de grãos por vagem (Quadro 7). Ressalta-se ainda que o fornecimento de nitrogênio nem sempre tem influenciado no incremento da produção (MALAVOLTA, 1972 e NEPTUNE & MURAOKA, 1978).

A omissão de fósforo, embora tenha apresentado o segundo maior peso de 100 grãos, estatisticamente não diferiu do tratamento completo, da mesma forma que para o número de vagens por planta e de grãos por vagem. Entretanto nestes dois últimos casos, a falta de fósforo apresentou uma tendência no sentido de diminuir estes valores quando comparados com a adubação completa; este fato, provavelmente, concorreu para o decréscimo na produção, determinado pelo tratamento sem fósforo.

A omissão de zinco, assim como a do fósforo, apesar de ter figurado entre os tratamentos com maior peso de 100 grãos, não diferiu significativamente do tratamento completo, para os três componentes da produção avaliados, tendo este resultado se refletido na matéria seca de grãos, onde os referidos tratamentos

ambém foram estatisticamente iguais. Esta situação relaciona-se com o teor de zinco no solo, pois considerando as faixas propostas por LOPES & CARVALHO (1988), as possibilidades nesta eram pequenas. Nas condições naturais de solo sob tem-se obtido respostas à aplicação de zinco (OLIVEIRA 1982b e BUZETTI et alii, 1982).

Quanto ao boro, o fato da sua ausência ter apresentado ausência para um menor valor no número de vagens por planta, talvez tenha concorrido para o decréscimo na produção, ainda que nos três componentes avaliados, a omissão de boro não tenha apresentado diferenças significativas em relação ao tratamento teste.

Segundo SILVA et alii (s.d.), plantas deficientes em potássio possuem sementes e frutos pequenos, chochos e mal granados. O potássio, conforme relato de PRETTY (1982), é considerado o "elemento de qualidade" em nutrição de plantas, sendo que esta qualidade, em alguns casos, inclui parâmetros mensuráveis como, por exemplo, a matéria seca. Um reduzido suprimento de potássio diminuiu o período de enchimento do grão em milho, além de diminuir o peso de grão (PRETTY, 1982). Em feijão, são relatados o aumento de peso de grãos pela adubação em cobertura com potássio. Estas considerações, justificam resultados obtidos neste estudo, onde a diminuição do peso de 100 grãos, determinada pela exclusão de potássio na adubação, trouxe efeito depressivo nesta característica.

O efeito negativo da omissão de enxofre, em todos os

componentes da produção avaliados, concorreu, indubitavelmente, para o decréscimo na matéria seca de grãos, determinado por este tratamento.

4.4. Teor e acúmulo de nitrogênio

As análises de variância são apresentadas nos Quadros 8 e 9, respectivamente, para os teores e quantidades acumuladas. Os tratamentos aplicados apresentaram efeitos significativos em todos os parâmetros avaliados, exceto no teor de nitrogênio nas raízes.

Nos Quadros 10 e 11 são apresentados, respectivamente, as médias dos teores e das quantidades acumuladas de nitrogênio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro. O maior conteúdo de nitrogênio nas raízes correspondeu ao tratamento testemunha, sendo que os demais não diferiram do tratamento completo; entretanto, na falta de fósforo e de enxofre, houve uma tendência no sentido de aumentar o acúmulo de nitrogênio nas raízes.

Na ausência de enxofre ocorreu maior teor e acúmulo de nitrogênio nas folhas + ramos + caule. Os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa para o teor de nitrogênio nestas partes vegetais do feijoeiro, porém, o menor acúmulo correspondeu à testemunha.

QUADRO 8 - Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de nitrogênio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	0,055	0,066*	0,033	0,062	0,047*	0,050**
Tratamentos	10	0,049	0,553**	0,147**	0,871**	0,412**	0,383**
Resíduo	30	0,025	0,020	0,02	0,028	0,011	0,011

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 9 - Resumo das análises de variância para os parâmetros nitrogênio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	49,18*	1490,20*	106,06	4956,03	9210,26	10336,05*
Tratamentos	10	157,63**	7351,64**	1069,68**	100726,72**	137466,70**	130013,53**
Resíduo	30	12,61	422,41	146,95	2640,62	3497,83	3516,59

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 10 - Teor de nitrogênio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Teor de nitrogênio (%)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	1,45	1,03 b	0,97 ab	2,94 bc	2,08 bcd	2,07 bcd
Solo natural (testemunha)	1,58	1,05 b	0,62 bc	2,42 de	1,59 f	1,59 f
- N	1,51	1,07 b	0,72 bc	3,35 b	2,31 b	2,30 b
- P	1,51	1,10 b	0,61 c	2,83 cd	1,97 cd	1,90 cde
- K	1,45	0,99 b	0,96 abc	3,28 b	2,16 bc	2,14 bc
- S	1,54	2,30 a	0,82 bc	3,88 a	2,78 a	2,73 a
- B	1,31	1,28 b	0,87 bc	2,83 cd	2,01 cd	2,00 cd
- Co	1,36	1,20 b	0,89 bc	2,68 cd	1,97 cd	1,96 cd
- Cu	1,25	1,22 b	0,67 bc	2,24 e	1,67 ef	1,66 ef
- Mo	1,29	1,26 b	1,27 a	2,57 cde	1,93 cd	1,92 cde
- Zn	1,46	1,00 b	0,77 bc	2,72 cd	1,86 de	1,86 de
C.V. (%)	11,00	11,42	17,14	5,84	5,25	5,11

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 11 - Nitrogênio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Nitrogênio acumulado (mg/vaso com duas plantas)					
	Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	11,27 bc	152,70 bcd	63,17 ab	783,50 a	999,37 ab	1010,64 a
Solo natural (testemunha)	30,41 a	74,51 e	19,64 c	201,30 f	295,45 d	325,86 d
- N	12,94 bc	129,70 d	39,96 bc	764,90 ab	934,56 ab	947,50 ab
- P	19,92 b	139,50 cd	38,87 bc	645,00 bcd	823,37 bc	843,29 bc
- K	16,35 bc	147,40 bcd	54,60 ab	701,50 abc	903,50 ab	919,85 ab
- S	20,01 b	240,50 a	39,45 bc	511,20 e	791,15 bc	811,16 bc
- B	9,20 c	192,80 ab	54,58 ab	634,50 cde	881,88 abc	891,09 abc
- Co	11,11 c	164,90 bcd	55,90 ab	645,00 bcd	865,80 abc	876,91 abc
- Cu	10,61 c	187,30 bc	42,79 bc	526,30 de	756,39 c	787,00 c
- Mo	10,55 c	195,00 ab	83,42 a	597,80 cde	876,22 abc	886,77 abc
- Zn	14,84 bc	157,30 bcd	50,88 b	659,60 abc	867,78 abc	882,62 abc
C.V. (%)	23,36	12,69	24,54	8,47	7,23	7,12

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Nas vagens, o menor teor e menor acúmulo de nitrogênio foram proporcionados pela omissão de fósforo; os demais tratamentos não diferiram do completo, exceto a testemunha, para o acúmulo de nitrogênio.

Nos grãos, a maior quantidade de nitrogênio foi observada nos tratamentos completo, menos nitrogênio, menos potássio e menos zinco; o menor acúmulo correspondeu à testemunha; na omissão de molibdênio, de cobre e de enxofre, também ocorreram decréscimos na quantidade de nitrogênio dos grãos.

A omissão de enxofre proporcionou o maior teor de nitrogênio nos grãos, seguido pelos tratamentos em que se omitiu o nitrogênio e o potássio, embora estes dois não tenham diferido do tratamento completo. Os menores teores de nitrogênio nos grãos foram determinados pela omissão de cobre, pela testemunha e pela omissão de molibdênio, sendo que este último não diferiu do tratamento completo.

Na parte aérea e na planta inteira, as respostas à aplicação dos tratamentos foram semelhantes, sendo os maiores acúmulos de nitrogênio registrados no tratamento completo, seguido pela omissão de nitrogênio e de potássio; os tratamentos menos cobre e testemunha apresentaram as menores quantidades de nitrogênio na parte aérea e na planta.

A omissão de enxofre apresentou o maior teor de nitrogênio na parte aérea e na planta inteira. Na testemunha e na falta de cobre registraram-se os menores valores para este teor.

A falta de nitrogênio e de potássio também promoveram elevação no teor de nitrogênio nestes parâmetros.

O efeito da omissão de fósforo, em que observou-se maior acúmulo de nitrogênio nas raízes e um dos menores na parte aérea e na planta inteira, sugere que, na falta deste nutriente, o transporte de nitrogênio das raízes para parte aérea tenha sido afetado. Interação entre fósforo e nitrogênio tem sido relatada por diversos autores. COBRA NETTO et alii (1971) observaram um aumento no teor de nitrogênio nas folhas de feijoeiro condicionado pela omissão de fósforo. Por outro lado FEITOSA et alii (1980), estudando adubações com nitrogênio e fósforo, em feijoeiro, observaram que a adição de nitrogênio determinou uma diminuição nos teores de fósforo nas sementes.

O fato da omissão de enxofre ter proporcionado um dos menores acúmulos de nitrogênio nos grãos sugere que, na falta do enxofre, ocorreram problemas na redistribuição do nitrogênio na planta, pois, os teores e acúmulos de nitrogênio nas raízes e nas folhas + ramos + caule, determinados por este tratamento, foram dos mais altos. A interação entre o nitrogênio e o enxofre também foi observada por COBRA NETTO et alii (1971), que verificaram uma elevação no teor de enxofre nas folhas do feijoeiro, quando se omitiu o nitrogênio. Em outra leguminosa, a mucuna preta, FORESTIERI & DE-POLLI (1990), observaram que a adição de enxofre promoveu uma diminuição na quantidade de nitrogênio na planta.

A omissão de nitrogênio determinou redução na quantidade de nitrogênio acumulada nas folhas + ramos + caule.

Quanto ao teor deste elemento nestas partes vegetais, a omissão de nitrogênio apresentou uma tendência no sentido de redução no teor. Por outro lado, este efeito detrimental, promovido pela omissão de nitrogênio no teor e acúmulo do próprio elemento, não foi constatado nos grãos, na parte aérea e na planta inteira. Este resultado demonstra a alta mobilidade do nitrogênio na planta concordando com relatos de MALAVOLTA (1980), MALAVOLTA et alii (1989), VITTI (1988) e CAMARGOS & CARVALHO (1989). Outra razão que pode ter influenciado neste resultado relaciona-se à eficiência da cultivar Carioca na translocação do nitrogênio para a produção de grãos (SILVA et alii, 1989) e na extração de nitrogênio do solo. AMARAL et alii (1980), avaliando as exigências nutricionais de cultivares de feijoeiro, incluíram a cultivar em questão entre as que promoveram maior extração e exportação de nitrogênio.

Por outro lado, o suprimento de nitrogênio pela fixação biológica e pela matéria orgânica também pode ter contribuído na definição desse resultado. Ressalta-se que, mesmo com esse resultado, a falta de nitrogênio afetou a quantidade de matéria seca nos grãos, na parte aérea e na planta inteira (Quadro 5).

O fato da omissão de nitrogênio não ter promovido decréscimos nos teores e acúmulos do próprio nutriente, na parte aérea e na planta inteira, pode ser explicado em razão da maior quantidade do nitrogênio da planta, na época da colheita ou próximo a esta, encontrar-se no grão (GALLO & MIYASAKA, 1961; MAFRA et alii, 1974 e COBRA NETTO et alii, 1971). Desse modo, no

presente estudo, a quantidade de nitrogênio nos grãos, praticamente, determinou os conteúdos na parte aérea e na planta inteira.

O resultado condicionado pela omissão de potássio, que aumentou os teores e acúmulos de nitrogênio nos grãos, com reflexos na parte aérea e na planta inteira, pode relacionar-se ao obtido por COBRA NETTO et alii (1971), que observaram aumento no teor de nitrogênio nas folhas do feijoeiro, determinado pela falta de potássio.

As omissões de cobre e de molibdênio condicionaram redução no teor e no acúmulo de nitrogênio nos grãos, resultados que sugerem um efeito desses micronutrientes na redistribuição do nitrogênio, já que a falta deles não determinou as mesmas respostas para o teor e acúmulo de nitrogênio nas folhas+ramos+caule.

Os teores de nitrogênio encontrados nas partes vegetais no presente estudo, em geral, assemelham-se com os relatados em vários trabalhos (OLIVEIRA & THUNG, 1988; AMARAL et alii, 1980; GALLO & MIYASAKA, 1961; COBRA NETTO et alii, 1971 e HAAG et alii, 1967), podendo as variações serem creditadas às diferenças entre os tratamentos, cultivares, métodos e condições prevaescentes nos diferentes ensaios.

4.5. Teor e acúmulo de fósforo

As análises de variância são apresentadas nos Quadros 12 e 13, respectivamente, para os teores e quantidades acumuladas. Os tratamentos apresentaram efeitos significativos sobre todos os parâmetros avaliados.

Nos Quadros 14 e 15 são apresentados, respectivamente, os teores e as quantidades acumuladas de fósforo nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro.

Nas raízes, as maiores quantidades de fósforo ocorreram na testemunha, com maior destaque e, nos tratamentos, onde se omitiu enxofre e potássio. O menor acúmulo de fósforo nas raízes foi apresentado pelo tratamento completo, seguido pela omissão de boro.

Com relação ao teor de fósforo nas raízes; houve tendência de efeitos semelhantes aos ocorridos sobre o acúmulo de fósforo, porém, passou a figurar entre os tratamentos que apresentaram menor teor de fósforo nesta parte vegetal, o tratamento em que se omitiu o fósforo.

De acordo com HILL (1980) e KOLLMAN et alii (1974), a translocação dos elementos móveis no floema para os órgãos mais jovens e frutos depende grandemente da presença de um dreno que estimule a redistribuição dos nutrientes. Desse modo, o efeito depressivo na matéria seca de grãos, de folhas + ramos + caule,

QUADRO 12 - Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de fósforo nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tratamentos	10	0,007**	0,008**	0,002**	0,029**	0,013**	0,013**
Resíduo	30	0,001	0,000	0,000	0,002	0,001	0,001

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 13 - Resumo das análises de variância para os parâmetros fósforo acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	0,46	13,80	1,05	66,83	110,85	107,38
Tratamentos	10	4,15**	261,87**	6,66**	4046,25**	6014,20**	5777,09**
Resíduo	30	0,17	10,65	0,97	180,02	212,07	213,36

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 14 - Teor de fósforo nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Teor de fósforo (%)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	0,07 e	0,14 bc	0,06 b	0,49 bc	0,32 ab	0,32 abc
Solo natural (testemunha)	0,23 a	0,12 c	0,07 b	0,42 cd	0,24 cd	0,24 cd
- N	0,14 bcd	0,14 bc	0,05 b	0,54 ab	0,35 ab	0,35 ab
- P	0,12 cde	0,06 d	0,04 b	0,33 d	0,20 d	0,20 d
- K	0,17 abc	0,26 a	0,12 a	0,57 ab	0,40 a	0,39 a
- S	0,18 ab	0,17 b	0,06 b	0,64 a	0,37 ab	0,36 ab
- B	0,10 de	0,13 bc	0,05 b	0,52 abc	0,32 abc	0,32 abc
- Co	0,15 bcd	0,16 bc	0,07 b	0,55 ab	0,36 ab	0,36 ab
- Cu	0,16 bcd	0,16 bc	0,06 b	0,59 ab	0,37 ab	0,36 ab
- Mo	0,17 abc	0,16 bc	0,05 b	0,49 bc	0,31 bc	0,31 bc
- Zn	0,15 bcd	0,15 bc	0,06 b	0,54 ab	0,34 ab	0,33 ab
C.V. (%)	16,15	13,01	21,66	9,67	9,37	9,52

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 15 - Fósforo acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Fósforo acumulado (mg/vaso com duas plantas)					
	Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	0,51 d	21,21 b	4,24 b	130,80 a	156,25 a	156,76 a
Solo natural (testemunha)	4,31 a	8,39 c	2,40 b	34,53 d	45,32 d	49,63 d
- N	1,20 cd	16,90 b	2,90 b	122,70 a	142,50 a	143,70 ab
- P	1,51 bcd	8,27 c	2,72 b	74,48 c	85,47 c	86,98 c
- K	1,92 bc	37,90 a	7,20 a	122,70 a	167,80 a	169,72 a
- S	2,33 b	17,94 b	3,29 b	85,07 bc	106,30 bc	108,63 bc
- B	0,72 d	20,10 b	3,46 b	117,60 ab	141,16 ab	141,88 ab
- Co	1,24 cd	21,92 b	4,42 b	132,90 a	159,24 a	160,48 a
- Cu	1,31 bcd	24,29 b	4,18 b	137,93 a	166,40 a	167,71 a
- Mo	1,36 bcd	24,04 b	3,64 b	113,92 ab	141,60 ab	142,96 ab
- Zn	1,52 bcd	23,14 b	3,92 b	130,34 a	157,40 a	158,92 a
C.V. (%)	25,57	16,02	25,64	12,27	10,90	10,80

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

e o menor número de vagens por planta apresentados pela testemunha e pela omissão de enxofre, sugerem uma força menor dos drenos, o que talvez tenha contribuído para os elevados valores do teor e acúmulo de fósforo nas raízes.

Em relação a folhas + ramos + caule, houve maior evidência do efeito da omissão de potássio sobre o acúmulo e teor de fósforo. O menor teor e menor acúmulo de fósforo corresponderam à testemunha e à omissão de fósforo.

Nas vagens, o tratamento sem potássio apresentou os maiores valores, tanto para o teor como para o acúmulo de fósforo; a omissão de fósforo registrou valores que se situavam entre os mais baixos tanto em seu teor como em seu acúmulo nas vagens.

Nos grãos, o menor acúmulo de fósforo correspondeu ao solo natural, embora a omissão de enxofre e de fósforo também tenham condicionado este efeito. Quanto ao teor de fósforo nos grãos, a omissão de enxofre apresentou o maior valor, o que pode ser atribuído a um efeito de concentração, dada a pequena quantidade de matéria seca de grãos apresentada por este tratamento. Os menores teores corresponderam à testemunha e à omissão de fósforo, o que se justifica pelo baixo conteúdo acumulado.

O menor teor e menor acúmulo de fósforo na parte aérea foram verificados na testemunha e na omissão de fósforo; já a omissão de potássio apresentou o maior teor e maior acúmulo de fósforo na parte aérea. Na planta inteira, as respostas à

aplicação dos tratamentos foram semelhantes às apresentadas na parte aérea tanto para os teores como para as quantidades acumuladas de fósforo.

No presente estudo, na omissão de potássio, observaram-se maiores teores e acúmulos de fósforo nas raízes, folhas + ramos + caule e vagens, o que condicionou maiores teores e acúmulos na parte aérea e na planta inteira; possivelmente, a omissão de potássio favoreceu a absorção de magnésio que, por sua vez exerceu um efeito de sinergismo na absorção de fósforo. Segundo MALAVOLTA (1980), o excesso de magnésio pode provocar diminuição na absorção do potássio. O mesmo autor relata influência sinérgica do magnésio na absorção de fósforo.

Outro fator observado, com nitidez, relaciona-se aos menores teores e acúmulos de fósforo, praticamente em todas as partes da planta, proporcionado pela omissão de fósforo, mesmo com o teor alto do nutriente no solo.

O fósforo é o nutriente que tem apresentado as maiores e mais freqüentes respostas quando aplicado à cultura do feijão (ROSOLEM, 1987). Entretanto, apesar dos efeitos das adubações fosfatadas serem especialmente acentuados em solos de baixa fertilidade natural, a deficiência de fósforo é importante mesmo em solos já adubados anteriormente (RAIJ, 1991). MASCARENHAS et alii (1967), em solo orgânico, encontraram respostas altamente significativas ao fósforo aplicado, com um teor original de 59 ppm de fósforo. NEPTUNE & PEREZ (1987), em cinco solos do Estado de São Paulo, encontraram respostas ao fósforo na matéria seca e

no teor de fósforo do feijoeiro, em níveis de até 150 kg de P_2O_5 /ha. Estudando o efeito do fósforo sobre o feijoeiro cultivado em Oxissolos, MACHADO et alii (1979) também observaram respostas na produção de grãos com aplicação do nutriente em doses de 200 kg de P_2O_5 /ha. Por outro lado, NOVAIS & BRAGA FILHO (1971) notaram um decréscimo na produção do feijoeiro, com acréscimo da dose de fósforo em um solo com 24 ppm deste nutriente.

Nas condições deste estudo, os resultados sugerem a possibilidade de resposta ao fósforo, não somente pelos baixos teores e quantidades acumuladas nas diferentes partes da planta, quando se omitiu este elemento, como também pelo efeito depressivo deste tratamento sobre a matéria seca de grãos, comparada ao tratamento completo.

Esse resultado, de certa forma, contrapõe-se aos obtidos por RONZELLI JUNIOR et alii (1985), no qual a cultivar Carioca é tida como tolerante à deficiência de fósforo, face a pouca resposta ao incremento na adubação fosfatada. Nas condições do presente estudo, mesmo com o alto teor de fósforo no solo, a cultivar em questão demonstrou possibilidades de resposta ao incremento na aplicação deste nutriente.

Os teores de fósforo apresentados nas diferentes partes vegetais, em geral, concordam com outros estudos (OLIVEIRA & THUNG, 1988; AMARAL et alii, 1980; GALLO & MIYASAKA, 1961; COBRA NETTO et alii, 1971; HAAG et alii, 1967 e MAFRA et alii, 1974), podendo as variações serem creditadas às diferenças entre tratamentos, cultivares, metodologia e demais condições

prevalentes nos diferentes ensaios.

Sobre a distribuição do fósforo na planta, a maior quantidade correspondeu ao elemento contido nos grãos, o que, em geral, concorda com resultados obtidos por GALLO & MIYASAKA (1961), COBRA NETTO et alii (1971) e MAFRA et alii (1974).

4.6. Teor e acúmulo de potássio

As análises de variância são apresentadas nos Quadros 16 e 17, respectivamente, para os teores e quantidades acumuladas. Os tratamentos apresentaram efeitos significativos sobre todas as características avaliadas.

Nos Quadros 18 e 19 são apresentados, respectivamente, os teores e as quantidades acumuladas de potássio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro.

As maiores quantidades de potássio nas raízes foram apresentadas pela testemunha e pela omissão de enxofre e de fósforo. O menor conteúdo de potássio nas raízes ocorreu na omissão do próprio elemento.

QUADRO 16 - Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de potássio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	0,036	0,030	0,043	0,008	0,005	0,005
Tratamentos	10	0,068**	0,545**	1,101**	0,127**	0,176**	0,167**
Resíduo	30	0,018	0,030	0,107	0,020	0,017	0,017

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 17 - Resumo das análises de variância para os parâmetros potássio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	3,27	165,54	517,02	599,82	2150,40	2197,92
Tratamentos	10	21,81**	15066,49**	2079,23**	25088,16**	71193,14**	70023,69**
Resíduo	30	1,71	741,60	245,27	1393,08	2648,66	2625,02

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 18 - Teor de potássio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Teor de potássio (%)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	0,38 ab	1,57 a	1,38 c	1,47 a	1,48 a	1,46 a
Solo natural (testemunha)	0,53 a	0,89 b	2,30 ab	1,39 ab	1,37 ab	1,29 ab
- N	0,64 a	1,48 a	1,33 c	1,45 a	1,44 ab	1,42 ab
- P	0,51 a	1,40 a	1,33 c	1,19 abc	1,28 ab	1,22 ab
- K	0,18 b	0,26 c	0,46 d	1,14 abc	0,74 c	0,72 c
- S	0,56 a	1,47 a	2,34 a	1,03 c	1,42 ab	1,37 ab
- B	0,53 a	1,34 a	1,23 cd	0,98 c	1,14 b	1,13 b
- Co	0,53 a	1,27 ab	1,39 c	1,06 bc	1,18 ab	1,16 ab
- Cu	0,42 ab	1,39 a	1,52 bc	1,31 abc	1,37 ab	1,35 ab
- Mo	0,35 ab	1,23 ab	1,58 abc	1,09 bc	1,20 ab	1,19 ab
- Zn	0,38 ab	1,32 ab	1,05 cd	1,04 bc	1,14 b	1,12 b
C.V. (%)	29,62	13,90	22,61	11,92	10,33	10,53

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 19 - Potássio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Potássio acumulado (mg/vaso com duas plantas)					
	Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	2,95 de	231,60 a	87,84 ab	392,40 a	711,84 a	714,73 a
Solo natural (testemunha)	9,82 a	62,17 c	73,24 b	115,50 e	250,91 e	260,76 e
- N	5,48 bcd	178,60 ab	72,97 b	329,50 ab	581,07 b	586,55 b
- P	6,63 abc	178,50 ab	84,02 ab	271,60 bc	534,12 b	540,75 b
- K	1,97 e	38,66 c	25,84 c	244,10 bc	308,60 de	310,57 de
- S	7,21 ab	154,60 b	115,20 a	135,40 de	405,20 cd	412,41 cd
- B	3,59 cde	202,40 ab	76,20 b	222,00 cd	500,60 bc	504,19 bc
- Co	4,19 bcde	173,74 ab	88,26 ab	255,21 bc	517,21 bc	521,40 bc
- Cu	3,56 cde	213,24 ab	97,17 ab	310,43 abc	620,84 ab	624,40 ab
- Mo	2,79 de	191,10 ab	98,84 ab	255,60 bc	545,54 b	548,33 b
- Zn	3,84 cde	207,15 ab	68,71 b	251,70 bc	527,56 bc	531,40 bc
C.V. (%)	27,66	16,36	19,39	14,75	10,29	10,15

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores médios dos tratamentos, quanto ao teor de potássio nas raízes, em geral, tiveram as mesmas tendências encontradas pelo acúmulo de potássio neste órgão, entretanto, o maior teor foi proporcionado pela omissão de nitrogênio, o que pode ser atribuído a um efeito de concentração, ainda que o efeito depressivo da omissão de nitrogênio na matéria seca de raízes não tenha sido um dos mais marcantes.

Nas folhas + ramos + caule, tanto o teor como o acúmulo de potássio foram afetados pela omissão do próprio elemento, entretanto, a adubação completa e a testemunha determinaram um aumento e uma diminuição, respectivamente, no teor e no acúmulo de potássio nestas partes vegetais.

Em relação às vagens, o efeito mais destacado ocorreu na omissão de potássio que determinou menor acúmulo e menor teor do próprio nutriente; a omissão de enxofre e de molibdênio determinaram uma elevação no teor e no acúmulo de potássio nesta parte vegetal.

Nos grãos, o maior teor de potássio correspondeu à adubação completa; enquanto que na falta de molibdênio, de cobalto, de zinco, de enxofre e de boro, observaram-se decréscimos nesse teor. Para o acúmulo, os maiores conteúdos corresponderam ao tratamento completo, à omissão de nitrogênio e de cobre; na falta de enxofre e na testemunha, foram observados os menores valores.

Na parte aérea, o maior conteúdo de potássio correspondeu ao tratamento onde foi feita adubação completa,

sendo que a omissão de cobre demonstrou uma tendência neste sentido; os efeitos mais marcantes quanto à redução no acúmulo de potássio na parte aérea foram causados pela omissão de enxofre, de potássio e na testemunha. Em relação ao teor de potássio na parte aérea, o efeito de maior relevância relaciona-se a falta de potássio, que condicionou o menor teor. Na planta inteira, os efeitos dos tratamentos corresponderam aos apresentados na parte aérea tanto para o teor como para o acúmulo de potássio.

Trabalhos realizados com potássio raramente apresentam respostas a este nutriente (MALAVOLTA, 1972). Segundo RAIJ (1991), muitos desses estudos encontram-se defasados em relação à realidade atual, de solos mais esgotados e maiores produtividades. Assim, acrescenta o autor, as adubações em geral, carregam quantidades insuficientes de potássio.

Nas condições do presente estudo, embora o teor de potássio tenha sido alto no solo, a omissão deste nutriente proporcionou decréscimo no teor e acúmulo deste nutriente na planta. Embora isto pareça justificável, pelo fato do potássio desenvolver o que se chama de "consumo de luxo", que implica em ser absorvido em quantidades acima das necessidades da planta, desde que ocorra disponibilidade do elemento no solo, o efeito apresentado pela omissão do nutriente no sentido de diminuir a matéria seca de grãos, sugere a possibilidade de resposta diante do incremento no suprimento deste nutriente para o feijoeiro.

USHERWOOD (1982) relata efeitos na interação do potássio com sódio, alumínio e zinco para a cultura do milho, com

zinco para as culturas do milho, fumo, batata e soja, com o manganês para as culturas do milho e gergelim, com o cálcio para a cultura de *Stylosanthes guyanensis* e com o enxofre para a cultura de *Antrosema pubescens*, sendo que neste último caso verificou-se um aumento na produção de matéria seca pela aplicação de enxofre em conjunto com o potássio. Em feijoeiro, BARBOSA FILHO et alii (1979) observaram um favorecimento para o teor de potássio nas vagens, proporcionado pela aplicação de fósforo e molibdênio.

Neste estudo, efeitos notadamente verificados quanto à interação, referem-se à omissão de enxofre, que condicionou menores teores e acúmulos de potássio nos grãos, menor acúmulo nas folhas + ramos + caule e maiores teores e acúmulos nas vagens e raízes.

Os teores apresentados pelas diferentes partes da planta assemelham-se a resultados obtidos em outros trabalhos (HAAG et alii, 1967; AMARAL et alii, 1980; GALLO & MIYASAKA, 1961; MAFRA et alii, 1974; COBRA NETTO et alii, 1971 e OLIVEIRA & THUNG, 1988), com variações creditadas às diferenças entre tratamentos, cultivares e metodologias, entre outras peculiaridades prevaescentes nos diferentes ensaios.

A distribuição dos conteúdos de potássio apresentada nas diferentes partes da planta assemelham-se aos dados obtidos por GALLO & MIYASAKA (1961), COBRA NETTO et alii (1971) e MAFRA et alii (1974), em que verificaram as maiores quantidades nos grãos.

4.7. Teor e acúmulo de cálcio

As análises de variância são apresentadas nos Quadros 20 e 21, respectivamente, para os teores e quantidades acumuladas. Os tratamentos apresentaram efeitos significativos sobre todas as características avaliadas.

Os Quadros 22 e 23 apresentam, respectivamente, os teores e as quantidades acumuladas de cálcio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro.

Nas raízes, as maiores quantidades de cálcio corresponderam aos tratamentos testemunha, menos fósforo e menos enxofre; a omissão de boro demonstrou o menor conteúdo. Os mesmos efeitos observados para o acúmulo de cálcio nas raízes, verificaram-se para o teor, incluindo, entretanto, o tratamento completo entre os que proporcionaram maiores acúmulos.

Quanto a folhas + ramos + caule, o menor acúmulo de cálcio ocorreu na omissão de enxofre e, na testemunha, na omissão de cada um dos micronutrientes, exceto o cobalto, observou-se os maiores acúmulos. Quanto ao teor de cálcio nestas partes vegetais, os maiores teores corresponderam à omissão de nitrogênio, à testemunha e à omissão de fósforo, o que, considerando principalmente a testemunha, pode ser atribuído a um efeito de concentração do elemento, dada à quantidade de matéria seca de folhas + ramos + caule produzida por estes

QUADRO 20 - Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de cálcio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	0,005	0,119	0,023*	0,004	0,016	0,013
Tratamentos	10	0,482**	0,527**	0,082**	0,016**	0,118**	0,124**
Resíduo	30	0,034	0,138	0,006	0,002	0,023	0,022

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 21 - Resumo das análises de variância para os parâmetros cálcio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	25,72	3378,47	156,11	385,82*	4883,47	5297,69
Tratamentos	10	361,99**	33282,07**	181,01*	771,45**	43099,77**	37426,94**
Resíduo	30	11,83	3185,01	62,52	107,42	3853,19	3951,47

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 22 - Teor de cálcio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Teor de cálcio (%)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta Inteira
Completo	1,39 bcd	2,94 b	0,53 de	0,29 bcd	1,14 b	1,14 b
Solo natural (testemunha)	2,08 a	3,85 ab	1,00 a	0,42 a	1,61 a	1,64 a
- N	1,21 cd	4,00 a	0,72 bcd	0,27 bcd	1,44 ab	1,44 b
- P	1,72 ab	3,81 ab	0,87 ab	0,36 ab	1,49 ab	1,46 b
- K	0,97 d	3,06 b	0,62 abc	0,27 bcd	1,33 b	1,32 b
- S	1,59 bc	3,01 b	0,72 bcd	0,34 abc	1,38 b	1,39 b
- B	0,96 d	3,49 ab	0,62 de	0,23 cd	1,41 b	1,40 b
- Co	1,19 cd	3,39 ab	0,52 e	0,21 d	1,25 b	1,25 b
- Cu	1,20 cd	3,71 ab	0,65 cde	0,29 bcd	1,50 ab	1,50 ab
- Mo	1,10 d	3,30 ab	0,70 bcde	0,23 cd	1,36 b	1,35 b
- Zn	1,11 d	3,33 ab	0,65 cde	0,25 bcd	1,35 b	1,34 b
C.V. (%)	14,05	10,78	11,16	16,97	10,61	10,69

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 23 - Cálcio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Cálcio acumulado (mg/vaso com duas plantas)					
	Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	10,84 c	433,50 ab	35,32 ab	76,70 ab	545,52 ab	556,36 ab
Solo natural (testemunha)	39,23 a	269,78 c	31,73 b	35,19 e	336,70 c	375,93 c
- N	10,33 c	482,27 a	40,00 ab	61,03 abcd	583,30 a	593,63 a
- P	22,82 b	484,00 a	54,75 a	82,27 a	621,02 a	643,84 a
- K	10,97 c	452,20 a	46,55 ab	58,37 abcde	557,12 a	568,09 ab
- S	20,68 b	312,10 bc	36,10 ab	43,82 de	392,02 bc	412,70 bc
- B	6,83 c	529,71 a	38,62 ab	52,07 bcde	620,40 a	627,23 a
- Co	9,81 c	465,11 a	33,25 b	50,44 cde	548,80 a	558,61 ab
- Cu	9,96 c	568,52 a	41,65 ab	69,83 abc	680,00 a	689,96 a
- Mo	8,94 c	513,20 a	45,88 ab	53,58 bcde	612,66 a	621,60 a
- Zn	11,17 c	522,32 a	42,33 ab	61,35 abcd	626,00 a	637,17 a
C.V. (%)	23,42	12,34	19,50	17,69	11,15	11,00

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

tratamentos. Os menores teores de cálcio nessas partes vegetais foram apresentados pela omissão potássio, de enxofre e no tratamento completo.

Nas vagens, quanto aos acúmulos, não houve diferença entre os tratamentos quando comparados ao completo. Os maiores teores registraram-se na omissão de potássio, de fósforo e na testemunha, neste último com maior intensidade.

Em relação aos acúmulos de cálcio nos grãos, na omissão de fósforo, o maior conteúdo foi registrado. Na testemunha, na omissão de enxofre e de cobalto, verificaram-se os menores conteúdos. Em relação aos teores apresentados nos grãos, a testemunha, a omissão de fósforo e a omissão de enxofre apresentaram os maiores teores. Também merece observação a omissão de cobalto, que diminuiu o teor de cálcio nos grãos.

Considerando que as maiores quantidades de cálcio foram estabelecidas nas folhas + ramos + caule, o que está de acordo com GALLO & MIYASAKA (1961), COBRA NETTO et alii (1971) e MAFRA et alii (1974), estas partes vegetais determinaram, praticamente, as respostas para a parte aérea e para a planta inteira. Desse modo, os menores conteúdos, tanto na parte aérea como na planta inteira, corresponderam à omissão de enxofre e à testemunha, com as omissões dos micronutrientes, excetuando o cobre e com a omissão de fósforo, condicionando os maiores acúmulos.

Em relação ao teor na parte aérea e na planta inteira, as respostas para a parte aérea foram semelhantes às na planta inteira, onde os maiores teores corresponderam à testemunha e à

omissão de cobre; o completo, o menos cobalto e o menos potássio foram os tratamentos que apresentaram os menores valores.

No presente estudo verificou-se que os efeitos mais relevantes para o cálcio, deram-se na omissão de fósforo e de enxofre. No caso do fósforo, face ao aumento no teor, nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens e grãos e ao maior acúmulo nos grãos. Desse modo, nas condições do experimento, o cálcio teve um favorecimento em sua absorção pela omissão de fósforo. Por outro lado, COBRA NETTO et alii (1971), em estudo sobre a nutrição mineral do feijoeiro observaram que, na omissão de fósforo, houve um decréscimo no teor de cálcio na matéria seca da planta, entretanto, esse resultado foi obtido em solução nutritiva. VIEIRA (1989) observou, na semente de feijão, um aumento na quantidade de fósforo com o aumento de doses de calcário dolomítico, entretanto, nesse caso, é possível que o efeito da calagem na disponibilidade de fósforo e o efeito sinérgico do magnésio na absorção de fósforo tenham sido os maiores contribuintes no resultado.

Em relação aos maiores teores de cálcio, apresentados pela testemunha nas diferentes partes vegetais do feijoeiro, atribui-se a um efeito de concentração, face ao pequeno conteúdo de matéria seca e aos pequenos acúmulos de cálcio determinados por este tratamento. Estas considerações também são válidas para o teor de cálcio apresentado nos grãos na omissão de enxofre.

Outro efeito de interação com o cálcio relaciona-se ao cobre; em sua omissão, maiores acúmulos de cálcio foram

observados nas folhas + ramos + caule, grãos, parte aérea e na planta. MALAVOLTA (1980) relata a ocorrência de antagonismo entre cálcio e cobre. Neste estudo a relação entre os cátions sugere uma inibição.

Em geral, os teores apresentados nas diferentes partes da planta assemelham-se aos resultados relatados por GALLO & MIYASAKA (1961), HAAG et alii (1967), COBRA NETTO et alii (1971), MAFRA et alii (1974) e OLIVEIRA & THUNG (1988), sendo superiores nos grãos aos resultados obtidos por VIEIRA (1989).

Quanto às quantidades distribuídas nas partes vegetais, os maiores conteúdos estabeleceram-se nas folhas + ramos + caule, comprovando a imobilidade do cálcio na planta conforme relatos de MALAVOLTA (1980), VITTI (1988) e CAMARGOS & CARVALHO (1989).

4.8. Teor e acúmulo de magnésio

As análises de variância são apresentadas nos Quadros 24 e 25, respectivamente, para os teores e quantidades acumuladas. Os tratamentos apresentaram efeitos significativos sobre todas as características avaliadas.

Os Quadros 26 e 27 apresentam, respectivamente, os teores e quantidades acumuladas de magnésio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro.

O maior acúmulo de magnésio nas raízes correspondeu à testemunha; na omissão de molibdênio, verificou-se o menor acúmulo de magnésio nas raízes. Para os teores, as mesmas respostas, praticamente, foram observadas sendo que uniram-se à testemunha com os maiores teores, os tratamentos em que se omitiu o fósforo e o completo.

Quanto ao magnésio acumulado nas folhas + ramos + caule, o maior acúmulo ocorreu na omissão de potássio e os menores conteúdos foram determinados pela omissão de nitrogênio, de enxofre e pela testemunha. Para os teores nestas partes vegetais, as respostas foram semelhantes às apresentadas nos acúmulos, sendo que o tratamento completo incluiu-se entre os que proporcionaram menores teores de magnésio.

Nas vagens, os efeitos mais marcantes deram-se na omissão de enxofre e na testemunha, onde ocorreram os menores acúmulos. Nas omissões de fósforo, de potássio, de molibdênio e de cobre foram verificados os maiores teores de magnésio nas vagens, enquanto que os menores teores foram determinados pelo menos cobalto e pelo completo.

QUADRO 24 - Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de magnésio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	0,001	0,010	0,001	0,001	0,001	0,001
Tratamentos	10	0,002**	0,113**	0,013**	0,001**	0,016**	0,016**
Resíduo	30	0,000	0,007	0,001	0,001	0,001	0,001

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 25 - Resumo das análises de variância para os parâmetros magnésio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	0,14	394,18*	14,15	27,70	251,38	259,72
Tratamentos	10	1,66**	4407,20**	140,64**	620,72**	8354,96**	8205,59**
Resíduo	30	0,11	132,11	15,23	18,40	187,85	189,35

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 26 - Teor de magnésio nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Teor de magnésio (%)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	0,11 ab	0,56 bc	0,37 e	0,24 abc	0,36 cd	0,35 bcd
Solo natural (testemunha)	0,15 a	0,62 bc	0,46 cd	0,25 ab	0,42 bc	0,40 bcd
- N	0,08 bc	0,54 bc	0,48 bc	0,20 e	0,34 d	0,33 d
- P	0,11 ab	0,62 bc	0,56 a	0,22 cde	0,39 bcd	0,38 bcd
- K	0,08 bc	1,11 a	0,55 a	0,23 bcd	0,58 a	0,57 a
- S	0,08 bc	0,44 c	0,46 cd	0,26 a	0,36 bcd	0,34 cd
- B	0,09 bc	0,66 b	0,46 cd	0,21 de	0,40 bcd	0,40 bcd
- Co	0,08 bc	0,70 b	0,41 de	0,24 abc	0,41 bcd	0,40 bcd
- Cu	0,08 bc	0,69 b	0,49 abc	0,25 ab	0,44 b	0,43 b
- Mo	0,06 c	0,64 bc	0,54 ab	0,24 abc	0,42 bc	0,41 bc
- Zn	0,09 bc	0,63 bc	0,48 bc	0,21 de	0,39 bcd	0,38 bcd
C.V. (%)	21,17	12,53	5,92	5,43	6,84	6,82

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 27 - Magnésio acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Magnésio acumulado (mg/vaso com duas plantas)					
	Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	0,84 bc	82,66 bc	24,46 b	64,69 a	171,83 b	172,67 b
Solo natural (testemunha)	2,82 a	42,74 d	14,66 c	20,81 f	78,21 d	81,03 d
- N	0,70 bc	64,99 cd	26,59 ab	45,68 d	137,26 c	137,96 c
- P	1,46 c	79,36 bc	34,99 a	50,18 bcd	164,53 bc	165,39 bc
- K	0,93 bc	163,90 a	31,33 ab	48,61 cd	243,84 a	244,77 a
- S	1,01 bc	45,89 d	22,80 bc	33,48 e	102,17 d	103,18 d
- B	0,68 bc	93,87 b	28,68 ab	47,82 cd	176,37 b	177,05 b
- Co	0,65 bc	96,01 b	25,92 ab	58,17 abc	180,10 b	180,75 b
- Cu	0,72 bc	106,50 b	31,47 ab	59,53 ab	197,50 b	198,22 b
- Mo	0,52 c	99,93 b	34,69 a	56,42 abc	191,04 b	191,56 b
- Zn	0,32 bc	99,15 b	31,26 ab	51,54 bcd	181,95 b	182,87 b
C.V. (%)	32,46	12,89	13,99	8,79	8,26	8,24

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Em relação aos grãos, o tratamento completo, à omissão de cobre, de cobalto e de molibdênio apresentaram os maiores acúmulos de magnésio. Quanto às menores quantidades de magnésio nos grãos, os efeitos mais marcantes corresponderam à testemunha e à omissão de enxofre, sendo que na omissão de nitrogênio, observou-se uma tendência nesse sentido. O teor de magnésio nos grãos sofreu redução nas omissões de boro, de zinco e de nitrogênio.

Os acúmulos de magnésio tanto na parte aérea como na planta inteira tiveram, praticamente, as mesmas respostas, com a omissão de potássio condicionando os maiores conteúdos, enquanto que nas omissões de nitrogênio, de enxofre e na testemunha registraram-se os menores conteúdos. Em relação aos efeitos dos tratamentos nos teores de magnésio, na parte aérea e na planta inteira, também houve semelhança nas respostas, sendo que na omissão de potássio registraram-se os maiores teores e na omissão de enxofre, de nitrogênio e no completo, os menores valores.

Os maiores teores e acúmulos de magnésio nas folhas + ramos + caule, na parte aérea e na planta, apresentados na omissão de potássio, podem ser explicados pela interação entre os dois nutrientes, já que o aumento na concentração de um, implica na diminuição da absorção do outro. Desse modo, na falta de potássio, houve um desequilíbrio na relação potássio/magnésio favorecendo a absorção de magnésio em detrimento da absorção de potássio.

Quanto à relação magnésio/potássio, USHERWOOD (1982)

comenta que, considerando os níveis críticos de análises de solo aceitos para o magnésio e potássio, a proporção entre estes seria de 3,3:1. Salienta-se que o autor usa o termo "nível crítico" para o valor inclusive e abaixo do qual o teor de nutriente é considerado baixo no solo. Na planta, segundo MALAVOLTA (1980), a relação potássio/magnésio geralmente varia entre 7 e 10. No presente estudo, considerando o teor dos nutrientes no solo, a relação magnésio/potássio foi de, aproximadamente, 6,5/1. Na planta, no tratamento em que se omitiu o potássio, considerando o teor deste nutriente, a relação potássio/magnésio foi de 1,28.

Na omissão de nitrogênio observaram-se decréscimos nos teores e nos acúmulos de magnésio nas folhas + ramos + caule, grãos, parte aérea e na planta inteira. Estes resultados podem estar relacionados aos resultados obtidos por FEITOSA et alii (1980) que, estudando os efeitos da adubação nitrogenada no feijoeiro, com e sem calagem, observaram um aumento no teor de magnésio nas folhas através do incremento na adubação nitrogenada na presença de calagem.

Quanto aos teores apresentados pelas diferentes partes da planta, em geral, concordam com resultados expostos em outros trabalhos (GALLO & MIYASAKA, 1961; HAAG et alii, 1967; COBRANETTO et alii, 1971; MAFRA et alii, 1974; FEITOSA et alii, 1980; OLIVEIRA & THUNG, 1988 e VIEIRA, 1989), sendo as variações creditadas às diferenças entre tratamentos, cultivares, metodologias, entre outras peculiaridades prevaescentes nos diferentes ensaios.

Em relação às quantidades apresentadas nas diferentes partes da planta, os resultados deste estudo concordam com os obtidos por COBRA NETTO et alii (1971) e por MAFRA et alii (1974), onde as maiores quantidades de magnésio estabeleceram-se nas vagens e nos grãos e discordam dos resultados obtidos por GALLO & MIYASAKA (1961) que observaram maiores quantidades nas hastes e nas folhas.

4.9. Teor e acúmulo de enxofre

As análises de variância são apresentadas nos Quadros 28 e 29, respectivamente, para os teores e quantidades acumuladas. Os tratamentos apresentaram efeitos significativos sobre todas as características avaliadas.

Os Quadros 30 e 31 apresentam, respectivamente, os teores e quantidades acumuladas de enxofre nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro.

O maior acúmulo de enxofre nas raízes foi proporcionado pela omissão de potássio, pela testemunha e pela omissão de zinco e de fósforo. Quanto ao teor, a omissão de potássio condicionou o maior teor de enxofre nas raízes; na omissão de enxofre o menor teor do próprio nutriente foi registrado.

QUADRO 28- Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de enxofre nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	0,000	0,004	0,000	0,002	0,001	0,001
Tratamentos	10	0,014**	0,065**	0,010**	0,027**	0,025**	0,025**
Resíduo	30	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 29 - Resumo das análises de variância para os parâmetros enxofre acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	0,16	100,82	0,64	9,09	163,18	173,06
Tratamentos	10	2,63**	1826,45**	53,82**	2778,39**	9252,17**	9249,48**
Resíduo	30	0,15	44,32	6,17	150,92	190,64	186,12

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Nas folhas + ramos + caule, o maior acúmulo de enxofre correspondeu ao tratamento em que se omitiu o potássio; os menores acúmulos corresponderam à omissão de fósforo, de nitrogênio, de enxofre e na testemunha, sendo nos dois últimos com maior severidade. Para o teor de enxofre, nestas partes vegetais, os efeitos dos tratamentos foram semelhantes.

Nas omissões de boro, de enxofre e na testemunha, observaram-se os menores conteúdos de enxofre nas vagens; na omissão de potássio verificou-se o maior valor para esta característica. Quanto aos teores de enxofre nas vagens, os efeitos dos tratamentos foram semelhantes aos ocorridos no acúmulo.

Nos grãos, na omissão de fósforo, na testemunha e na omissão de enxofre, registraram-se os menores acúmulos de enxofre; o tratamento completo determinou o maior acúmulo. Para o teor de enxofre nos grãos, o efeito mais severo correspondeu à omissão do próprio elemento.

O enxofre acumulado na parte aérea e na planta inteira foi afetado pelos tratamentos em que se omitiu o nitrogênio, o boro, o fósforo, o enxofre e na testemunha, sendo que nos dois últimos os efeitos foram de maior intensidade. Em relação ao teor de enxofre, na parte aérea e na planta inteira, os menores valores corresponderam à testemunha, à omissão de fósforo e de enxofre, enquanto que na omissão de potássio registraram-se os maiores valores para o acúmulo e para o teor de enxofre na parte aérea e na planta inteira.

QUADRO 30 - Teor de enxofre nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Teor de enxofre (%)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	0,18 bcd	0,37 bc	0,192 ab	0,40 abc	0,36 ab	0,36 ab
Solo natural (testemunha)	0,15 cd	0,11 ef	0,085 d	0,47 a	0,27 c	0,26 c
- N	0,23 abc	0,21 def	0,185 abcd	0,41 abc	0,32 bc	0,32 bc
- P	0,19 bcd	0,22 de	0,198 a	0,31 c	0,27 c	0,26 c
- K	0,31 a	0,52 a	0,238 a	0,44 ab	0,44 a	0,43 a
- S	0,10 d	0,10 f	0,090 cd	0,17 d	0,13 d	0,13 d
- B	0,15 cd	0,28 cd	0,092 bcd	0,36 abc	0,29 bc	0,29 bc
- Co	0,17 bcd	0,42 ab	0,180 abcd	0,38 abc	0,36 ab	0,36 ab
- Cu	0,15 cd	0,35 bc	0,148 abcd	0,44 ab	0,37 ab	0,36 ab
- Mo	0,15 cd	0,35 bc	0,170 abcd	0,36 abc	0,33 bc	0,32 bc
- Zn	0,25 ab	0,32 bcd	0,187 abc	0,33 bc	0,31 bc	0,31 bc
C.V. (%)	19,67	15,98	26,66	13,26	9,23	9,29

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 31 - Enxofre acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Enxofre acumulado (mg/vaso com duas plantas)

Tratamentos	Enxofre acumulado (mg/vaso com duas plantas)					
	Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	1,36 c	55,14 b	12,49 a	108,00 a	175,63 ab	176,99 ab
Solo natural (testemunha)	2,76 ab	7,55 e	2,70 d	39,29 c	49,54 e	52,30 e
- N	1,94 bc	25,97 cd	10,33 abc	93,95 ab	130,25 cd	132,19 cd
- P	2,46 b	28,93 c	12,45 a	70,19 b	111,57 d	114,03 d
- K	3,52 a	76,49 a	13,61 a	92,82 ab	182,92 a	186,44 a
- S	1,30 c	10,68 de	4,31 cd	22,12 c	37,11 e	38,41 e
- B	1,05 c	42,00 bc	5,72 bcd	81,34 ab	129,06 cd	130,11 cd
- Co	1,38 c	57,79 b	11,40 ab	91,53 ab	160,72 abc	162,10 abc
- Cu	1,22 c	53,96 b	9,28 abc	103,90 a	167,14 ab	168,36 ab
- Mo	1,25 c	54,50 b	10,45 abc	83,25 ab	148,20 bc	149,45 bc
- Zn	2,53 c	49,75 b	12,20 a	80,48 ab	142,43 bcd	144,96 bcd
S. e. S. e.	20,91	15,83	26,05	15,59	10,59	10,31

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A deficiência de enxofre tem sido observada em diferentes culturas, em solos sob vegetação de cerrado (HIROCE & GALLO, 1972; FONTES et alii, 1982 e CASAGRANDE & SOUZA, 1982). Em feijão VITTI et alii (1982) obtiveram resposta do feijoeiro à aplicação de enxofre, na forma de gesso, aplicado no sulco de plantio.

Segundo ALVAREZ V. (1988), nas condições de cerrado, as ocorrências de deficiência de enxofre devem-se não somente à pobreza natural dos solos, mas também ao uso crescente de formulações concentradas, que não incluem o enxofre em suas composições.

Outro aspecto de interesse relacionado ao enxofre, diz respeito a sua distribuição no perfil do solo, que é influenciada pelas características químicas, físicas e pelo manejo dos solos. Em solos cultivados, pode ocorrer um aumento no teor de SO_4^{-2} na camada inferior àquela cultivada (McCLUNG et alii, 1959), sendo este comportamento determinado pela mineralização do enxofre e pela maior perda de SO_4^{-2} por lixiviação da camada superficial do solo, principalmente àqueles submetidos a intensos cultivos e às práticas que diminuem a adsorção de SO_4^{-2} , como a calagem e a adubação (BISSANI & TEDESCO, 1988). Desse modo, em culturas que apresentam seus sistemas radiculares, predominantemente, superficiais, como é o caso do feijoeiro (INFORZATO & MIYASAKA, 1963), é possível ocorrer deficiência de enxofre, por este encontrar-se posicionalmente não disponível.

No presente estudo verificou-se, com relevância, que a

disponibilidade de enxofre na camada de 0-20 cm do solo foi inadequada para o desenvolvimento satisfatório do feijoeiro, considerando os teores e acúmulos deste nutriente e a matéria seca produzida em todas as partes da planta, quando se omitiu o enxofre na adubação e o teor do elemento no solo sob condições naturais.

O efeito do tratamento em que se omitiu o potássio, que condicionou maiores teores e acúmulos de enxofre em todas as partes da planta, pode relacionar-se aos resultados obtidos por COBRA NETTO et alii (1971) que, em estudo em solução nutritiva, verificou interação entre estes nutrientes, sendo que a omissão de enxofre aumentou o teor de potássio nas folhas.

Segundo VITTI et alii (1988), as leguminosas, como possuidoras de altos teores de proteínas, exigem quantidades mais elevadas de enxofre para o seu desenvolvimento. Acrescenta o autor que o enxofre está intimamente ligado ao metabolismo do nitrogênio, sendo inclusive utilizada a relação nitrogênio/enxofre para avaliar a condição nutricional do enxofre na planta. Em arroz, verificou-se resposta à adubação com enxofre, quando a relação nitrogênio/enxofre, no solo, era 21, não ocorrendo resposta quando esta relação era 10 (MALAVOLTA, 1980).

Neste trabalho, em relação ao teor e acúmulo de enxofre nas folhas + ramos + caule e ao acúmulo de enxofre na parte aérea e na planta inteira, a omissão de nitrogênio diminuiu estes valores, resultado que demonstra que o teor de nitrogênio no solo

proporcionou condições adversas à absorção de enxofre.

Doses elevadas, não somente de nitrogênio como também de fósforo, podem determinar deficiências de enxofre (CRAVO et alii, 1985 e KUMAR & SINGH, 1980b). O efeito da interação entre fósforo e enxofre é observado tanto na produção dos vegetais, como no solo (ADAMS et alii, 1982 e KUMAR & SINGH, 1980a).

CRAVO et alii (1985), estudando o efeito da interação entre fósforo e enxofre em plantas de soja e em solos sob cultivo desta leguminosa, observaram que, com o aumento da dose de um destes nutrientes, há necessidade de incrementar a dose do outro, sendo que o tipo de solo e o uso ou não de calagem, condicionam a relação ótima entre estes nutrientes. Nas plantas os tipos de solos e a presença ou não de calagem pouco influenciaram as concentrações críticas destes nutrientes.

No presente estudo a omissão de fósforo diminuiu os teores e acúmulos de enxofre nas folhas + ramos + caule, na parte aérea e na planta inteira e diminuiu o acúmulo de enxofre nos grãos, resultado que, em conjunto com os menores acúmulos de fósforo no tratamento em que se omitiu enxofre, demonstram não ter ocorrido competição entre os nutrientes nas condições do solo em estudo.

Em relação ao teor de enxofre apresentado pelas diferentes partes vegetais, em geral, estão de acordo com outros trabalhos relacionados à nutrição do feijoeiro (GALLO & MIYASAKA, 1961; HAAG et alii, 1967 e OLIVEIRA & THUNG, 1988). Resultados obtidos por COBRA NETTO (1971), com a cultivar Roxinho, em

condições de campo, foram superiores aos obtidos no presente estudo.

Quanto à distribuição do nutriente na planta as maiores quantidades estabeleceram-se nos grãos, resultados que concordam com os obtidos por GALLO & MIYASAKA (1961), HAAG et alii (1967) e COBRA NETTO et alii (1971) e demonstram a mobilidade do enxofre na planta (MALAVOLTA, 1980; VITTI, 1988 e CAMARGOS & CARVALHO, 1989).

4.10. Teor e acúmulo de boro

As análises de variância são apresentadas nos Quadros 32 e 33, respectivamente, para os teores e quantidades acumuladas. Os tratamentos apresentaram efeitos significativos, sobre todas as características avaliadas.

Os Quadros 34 e 35 apresentam, respectivamente, os teores e as quantidades acumuladas de boro nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro.

Os maiores acúmulos de boro nas raízes foram determinados pela testemunha, pela omissão de enxofre e pela omissão de fósforo; o menor acúmulo de boro nas raízes foi determinado pela omissão do próprio nutriente. Em relação ao teor de boro nas raízes, o efeito mais marcante ocorreu na omissão do

próprio elemento, onde se verificou o menor valor.

Os tratamentos em que se omitiu o nitrogênio, o próprio boro, e na testemunha, corresponderam aos menores conteúdos de boro nas folhas + ramos + caule. Relacionado ao teor de boro nas folhas + ramos + caule, a falta de nitrogênio e do próprio elemento determinaram os menores valores.

Na vagem o efeito de maior realce, correspondeu à omissão de molibdênio, que apresentou os menores valores tanto no teor como no acúmulo de boro.

Nos grãos, os menores acúmulos de boro registraram-se na falta de enxofre, na falta do próprio nutriente e na testemunha. Relacionado aos teores, o efeito de maior destaque correspondeu à omissão de boro, que diminuiu seu teor nos grãos.

Na parte aérea e na planta inteira, as respostas quanto ao acúmulo de boro foram semelhantes, ou seja, na omissão de enxofre, de nitrogênio, de boro e na testemunha, registraram-se os menores valores. Para o teor de boro na parte aérea a resposta mais acentuada, deu-se pela omissão do próprio nutriente, que diminuiu seu teor neste parâmetro. O teor de boro na planta inteira foi afetado na omissão do próprio boro, enquanto que na omissão de enxofre, registrou-se o maior valor.

Em condições de cerrado, estima-se que 60% dos solos apresentem deficiência de boro; entretanto, estas deficiências parecem estar relacionadas mais com a alta demanda de certas culturas do que com a baixa disponibilidade natural (LOPES & GUILHERME, 1992).

QUADRO 32 - Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de boro nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	30,84	52,92	118,35	7,97	26,49	29,69*
Tratamentos	10	504,53*	308,64**	825,67**	15,13**	126,93**	138,90**
Resíduo	30	137,42	45,07	74,58	3,34	10,69	10,17

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 33 - Resumo das análises de variância para os parâmetros boro acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	230,14	13225,57	406,64	3960,82	23152,56	25647,90
Tratamentos	10	2261,90**	98545,84**	34412,13**	32370,95**	329014,19**	316875,76**
Resíduo	30	238,97	11133,15	6066,94	1867,20	18725,09	19201,59

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 34 - Teor de boro nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Teor de boro (ppm)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	62,84a	55,00a	71,99ab	15,10a	35,23abcd	35,68bcd
Solo natural (testemunha)	58,58ab	59,31a	75,51ab	13,68ab	41,46ab	43,02ab
- N	59,66a	42,24bc	56,13ab	13,68ab	28,02de	28,67de
- P	63,38a	55,10ab	74,82ab	16,55a	37,09abc	36,93abc
- K	62,53a	45,91abc	71,21ab	15,55a	34,03bcd	34,77cd
- S	65,95a	56,29ab	88,67a	15,95a	43,27a	44,26a
- B	29,75b	22,29c	58,09b	9,50b	23,34e	23,44e
- Co	68,05a	52,39ab	73,90ab	14,13a	34,58bcd	35,17bcd
- Cu	72,89a	55,10ab	67,99ab	16,33a	36,80abc	37,45abc
- Mo	53,52ab	56,25ab	32,87c	15,00a	31,84cd	32,23cd
- Zn	56,27ab	45,72abc	64,26b	14,43a	32,07cd	32,58cd
C. v. (%)	19,73	13,36	12,92	12,59	9,53	9,13

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 35 - Boro acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL. Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Boro acumulado (µg/vaso com duas plantas)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	48,6bcd	813,4ab	475,9a	402,2a	1691,5a	1740,1a
Solo natural (testemunha)	110,0a	416,5e	239,7bc	113,6c	769,8e	879,8e
- N	50,4bcd	508,5cde	310,6abc	312,3ab	1131,4cd	1181,8cde
- P	82,6abc	700,3abcd	472,2a	377,3a	1549,8ab	1632,4ab
- K	70,2bc	685,1abcd	413,2ab	333,1a	1431,4abc	1501,6ab
- S	85,6ab	588,9bcde	435,4a	211,3bc	1235,6bcd	1321,2bcd
- B	21,6d	443,7de	363,4abc	211,0bc	1018,1de	1039,7de
- Co	54,8bcd	718,2abc	462,0a	339,4a	1519,6ao	1574,4ab
- Cu	61,1bc	646,5ab	432,0ab	383,7a	1662,2a	1723,3a
- Mo	45,3cd	872,7a	211,2c	348,2a	1432,1abc	1477,4abc
- Zn	56,7bcd	717,7abc	421,7ab	349,6a	1489,0ab	1545,7ab
C.V. (%)	24,75	15,87	20,22	14,06	10,06	9,76

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Segundo MALAVOLTA & KLIEMANN (1985), os feijões possuem sensibilidade média à carência de boro. Entretanto respostas do feijoeiro à aplicação de boro foram relatadas por RUSCHELL et alii (1966 e 1970) e GALRÃO (1988).

No presente estudo, em decorrência dos baixos teores e acúmulos de boro nas diferentes partes vegetais, da baixa quantidade de matéria seca de grãos apresentados na omissão de boro e do baixo teor no solo, abaixo do nível crítico, é possível admitir a possibilidade de resposta do feijoeiro ao incremento deste nutriente na adubação.

MALAVOLTA & KLIEMANN (1985) relatam ser o excesso de nitrogênio no solo um dos fatores que determinam a deficiência de boro. Neste estudo, a interação entre estes nutrientes, manifestou-se no sentido de diminuir o teor e o acúmulo de boro nas folhas + ramos + caule, na parte aérea e na planta inteira, por ocasião da omissão de nitrogênio.

Outra interação observada com destaque relaciona-se ao boro com o enxofre; a omissão do segundo diminuiu o acúmulo do primeiro nos grãos, na parte aérea e na planta inteira. O maior teor de boro na planta inteira, observado na omissão de enxofre, pode ser justificado por um efeito de concentração, já que este tratamento condicionou uma das menores quantidades de matéria seca na planta.

Os teores de boro apresentados neste estudo assemelham-se aos relatos de BATISTA et alii (1975) e OLIVEIRA & THUNG (1988). Quanto às quantidades nas partes vegetais, somando-se os

conteúdos de vagens e grãos, os valores foram praticamente equivalentes aos encontrados nas folhas + ramos + caule.

4.11. Teor e acúmulo de cobre

As análises de variância são apresentadas nos Quadros 36 e 37, respectivamente, para os teores e quantidades acumuladas. Os tratamentos apresentaram efeitos significativos sobre todas as características avaliadas.

Os Quadros 38 e 39 apresentam, respectivamente, os teores e quantidades acumuladas de cobre nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro.

Nas raízes a omissão de potássio apresentou o maior acúmulo e o maior teor de cobre, enquanto que os menores acúmulos e menores teores corresponderam à testemunha e ao completo.

A omissão de fósforo, de enxofre, de nitrogênio e a testemunha condicionaram decréscimos no acúmulo de cobre nas folhas + ramos + caule; na falta de zinco, registrou-se o maior valor para este parâmetro. Quanto ao teor nestas partes vegetais, a omissão de enxofre, de fósforo, de cobre, de molibdênio e de nitrogênio, registraram os menores valores. Nas vagens, quanto ao acúmulo, a omissão de boro, de zinco, de enxofre, de nitrogênio, de potássio e a testemunha afetaram a quantidade

acumulada de cobre, enquanto que a omissão de cobalto determinou o maior valor. Em relação ao teor, as respostas foram semelhantes às obtidas para o acúmulo nesta característica.

A quantidade de cobre nos grãos foi afetada pela testemunha e pela falta de enxofre; na omissão de zinco e de cobalto, observaram-se os maiores valores para esta característica. Quanto ao teor de cobre nos grãos, a testemunha e a omissão de zinco apresentaram o menor e maior valor, respectivamente, neste parâmetro.

Na parte aérea, os efeitos mais marcantes no acúmulo de cobre, foram observados na omissão de cobalto que condicionou uma elevação no valor, e na omissão de enxofre e na testemunha, onde registraram-se os menores valores, respostas semelhantes ocorreram no teor de cobre na parte aérea, sendo a testemunha substituída pela omissão de nitrogênio entre os tratamentos que apresentaram menores valores.

Na planta inteira, na omissão de nitrogênio, de enxofre e na testemunha, verificaram-se os menores acúmulos de cobre, enquanto que na falta de cobalto, registrou-se a maior quantidade. Quanto ao teor de cobre na planta inteira, os efeitos mais marcantes corresponderam a omissão de cobalto e de nitrogênio que apresentaram o maior e menor valor, respectivamente.

QUADRO 36 - Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de cobre nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	86,97	0,15	4,26	0,54	0,60	0,87
Tratamentos	10	750,70**	7,29**	186,92**	2,10**	6,33**	5,52**
Resíduo	30	36,20	0,35	14,49	0,52	0,35	0,37

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 37 - Resumo das análises de variância para os parâmetros cobre acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	211,81*	99,60	548,43	593,12	2864,93*	3171,63*
Tratamentos	10	1060,59**	3267,27**	10253,22**	11906,04**	51646,90**	50611,70**
Resíduo	30	66,48	104,86	546,92	413,83	947,02	988,01

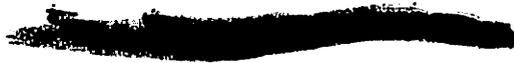
* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 38 - Teor de cobre nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Teor de cobre (ppm)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	13,00c	8,50abc	26,65ab	8,50ab	10,89b	10,92b
Solo natural (testemunha)	11,75c	9,40ab	20,00bcde	7,50b	10,41bc	10,51b
- N	33,75b	6,00e	12,25e	8,25ab	8,11d	8,64c
- P	35,00b	7,00de	25,00abc	9,25ab	10,93b	11,38b
- K	50,00a	9,25ab	11,00e	9,25ab	9,51bcd	10,82b
- S	44,00b	7,25cde	15,75cde	8,25ab	9,14cd	10,66b
- B	35,00b	8,25bcd	17,00bcde	9,25ab	10,04bc	10,44b
- Co	42,75b	9,75a	34,25a	9,50a	13,09a	13,64a
- Cu	43,00b	7,00de	22,00bcd	8,25ab	9,59bc	10,37b
- Mo	38,00b	6,50e	21,75bcd	9,00ab	9,76bc	10,37b
- Zn	39,75b	9,50ab	15,00de	10,00a	10,53bc	11,15b
C.V. (%)	16,71	7,37	19,02	8,25	5,86	5,63

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.



QUADRO 39 - Cobre acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Cobre acumulado ($\mu\text{g}/\text{vaso}$ com duas plantas)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	10,2e	125,8ab	171,3ab	226,4ab	523,5ab	533,7b
Solo natural (testemunha)	21,7de	66,8e	63,2e	62,3c	192,3g	214,0d
- N	28,8cde	72,3e	66,6e	188,6b	327,5ef	356,3c
- P	46,1bc	88,8cde	157,4abc	211,0ab	457,0bcd	503,1b
- K	67,9a	137,4a	63,8e	197,9ab	399,1de	467,0b
- S	57,1ab	76,4de	75,8e	108,3c	260,5fg	317,6c
- B	24,7de	124,8ab	107,2cde	208,1ab	440,1cd	464,8b
- Co	35,0cd	133,1a	215,2a	228,6ab	576,9a	611,9a
- Cu	36,3cd	107,3bc	141,5bcd	194,0ab	442,8cd	479,1b
- Mo	31,1cd	100,9bcd	136,8bcd	208,1ab	445,8cd	476,9b
- Zn	39,9bcd	149,0a	98,0de	243,0a	490,0bc	529,9b
C.V. (%)	22,48	9,53	19,84	10,78	7,43	6,98

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados do presente estudo permitem identificar interações entre o cobre e outros nutrientes, assumindo maior destaque as interações com o nitrogênio, fósforo, enxofre, zinco e cobalto.

Altas concentrações de zinco e de fósforo no meio diminuem a absorção de cobre (MALAVOLTA, 1976 e 1980); MARINHO (1988) acrescenta a estes, altas concentrações de nitrogênio. Em relação ao zinco, tal afirmação foi constatada pelo maior teor e maior acúmulo de cobre nas partes vegetais, observados na omissão de zinco, porém, quanto ao fósforo, sua omissão diminuiu o teor e acúmulo de cobre nas folhas + ramos + caule, sugerindo que a falta de fósforo prejudicou a absorção de cobre.

Na falta de nitrogênio e de enxofre, também verificaram-se menores teores e acúmulos de cobre, sugerindo também que a falta destes nutrientes no solo acarretaram prejuízos na absorção de cobre.

O efeito da omissão de cobalto, em que observaram-se maiores teores e acúmulos de cobre, destacadamente, na parte aérea e na planta inteira, pode ser atribuído a um efeito de competição. A planta tem necessidade de manter a neutralidade elétrica e o balanço entre cátions e ânions (BATAGLIA, 1988). Desse modo na falta de cobalto que é absorvido na forma de cátion, outro cátion ocupou o seu lugar na absorção, no caso o cobre.

Respostas das culturas à aplicação de cobre, não têm sido registradas em condições de cerrado (LOPES & GUILHERME,

1992). MALAVOLTA & KLIEMANN (1985) incluem os feijões, de um modo geral, entre as culturas que apresentam baixa sensibilidade à carência de cobre.

Neste estudo, mesmo com o teor de cobre abaixo do nível considerado crítico, a omissão deste nutriente não afetou a matéria seca dos grãos e o teor e acúmulo deste nas partes vegetais, entretanto, seu teor no solo pode ter contribuído para a baixa quantidade de matéria seca dos grãos e para os baixos teores e baixos acúmulos de cobre nas partes vegetais apresentados pela testemunha.

Em relação aos teores de cobre nas partes vegetais do feijoeiro apresentados neste estudo, em geral, estão de acordo com relatos de BATISTA et alii (1975) e OLIVEIRA & THUNG (1988). Quanto à distribuição deste nutriente na planta, as maiores quantidades estabeleceram-se nas vagens e nos grãos.

4.12. Teor e acúmulo de ferro

As análises de variância são apresentadas nos Quadros 40 e 41, respectivamente, para os teores e quantidades acumuladas. Os tratamentos apresentaram efeitos significativos sobre todas as características avaliadas.

Os Quadros 42 e 43 apresentam, respectivamente, os teores e as quantidades acumuladas de ferro nas raízes, folhas +

ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro.

Nas raízes o tratamento completo e a testemunha apresentaram os menores acúmulos de ferro. Os maiores acúmulos registraram-se na omissão de fósforo, de enxofre e de potássio. Em relação ao teor, os efeitos mais destacados corresponderam ao tratamento completo e à testemunha, que apresentaram os menores valores para esta característica.

Nos tratamentos em que se omitiu o fósforo, o enxofre e na testemunha, observaram uma redução na quantidade de ferro acumulado nas folhas + ramos + caule, enquanto que no tratamento completo e na omissão de potássio, verificaram-se maiores acúmulos de ferro nestas partes vegetais.

Em relação ao teor, o efeito mais marcante registrou-se na omissão de enxofre, que apresentou o menor valor para esta característica, no tratamento completo e na omissão de potássio registraram-se os maiores teores de ferro.

Nas vagens, houve uma redução, no acúmulo de ferro quando se omitiu o fósforo, o enxofre e na testemunha; a maior quantidade foi observada na falta de nitrogênio. Para o teor de ferro nas vagens as respostas foram semelhantes, sendo que a testemunha foi excluída entre os tratamentos que apresentaram menores valores.

QUADRO 40 - Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de ferro nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	103229,63*	2228,18	29,29	34,50	524,17	1298,88
Tratamentos	10	4795345,66**	22957,15**	1397,51**	1713,40**	3454,74**	2199,41*
Resíduo	30	24657,67	4598,01	30,49	56,24	535,88	667,06

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 41 - Resumo das análises de variância para os parâmetros ferro acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	672489,91*	1231809,02	1487,32	92078,98	1562158,15	3202357,35
Tratamentos	10	5970340,18**	11063422,41**	49044,12**	2776553,80**	22697312,33**	23963260,00**
Resíduo	30	169860,14	955261,22	1432,46	49517,63	992816,11	1277237,91

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 42 - Teor de ferro nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Teor de ferro (ppm)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	445,8b	480,5a	46,8c	113,3bc	216,6a	220,1b
Solo natural (testemunha)	595,8b	321,8ab	38,8cd	126,5b	184,6ab	221,8b
- N	3189,0a	426,5a	82,5a	106,3cde	198,9ab	260,7ab
- P	3292,0a	351,8ab	16,2f	89,8de	158,6bc	248,2ab
- K	3376,0a	449,5a	61,5b	107,3cd	222,2a	304,4a
- S	3248,0a	207,0b	22,8ef	87,8e	120,4c	257,2ab
- B	3009,0a	401,5a	26,5def	113,3bc	200,8ab	245,9ab
- Co	3181,0a	357,5ab	48,0bc	114,8bc	179,5ab	234,1b
- Cu	3227,0a	390,3a	37,0cd	118,3bc	200,0ab	254,8ab
- Mo	3251,0a	421,3a	37,0cd	121,5bc	213,7ab	267,6ab
- Zn	3182,0a	319,5ab	32,2de	165,8a	198,3ab	261,8ab
C.V. (%)	5,76	18,07	13,52	6,53	12,16	10,23

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 43 - Ferro acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Ferro acumulado ($\mu\text{g}/\text{vaso}$ com duas plantas)

Tratamentos	Ferro acumulado ($\mu\text{g}/\text{vaso}$ com duas plantas)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	332e	7090a	309bc	3022b	10421a	10753a
Solo natural (testemunha)	1102e	2239c	124fg ₃	1052e	3415d	4517c
- N	2714cd	5186ab	453a	2424cd	8063abc	10777a
- P	4333a	4477bc	103g	2047d	6827c	10960a
- S	3807ab	6705ab	355b	2294cd	9354ab	13161a
- K	4211ab	2160c	111g	1164e	3435d	7646b
- B	2145 d	6073ab	167efg	2542bcd	8782abc	10927a
- Co	2589cd	4847ab	303bcd	2765bc	7915bc	10504a
- Cu	2699cd	6015ab	234cde	2789bc	9038abc	11737a
- Mo	2656cd	6532ab	234cde	2811bc	9577ab	12233a
- Zn	3219bc	5006ab	211def	4020a	9237ab	12456a
C.V. (%)	15,21	19,09	15,98	9,09	12,76	10,75

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na omissão de zinco, ocorreu um aumento na quantidade de ferro acumulada nos grãos; por outro lado, na omissão de enxofre e na testemunha ocorreu redução no acúmulo. O teor de ferro nos grãos foi afetado pela omissão de enxofre e de fósforo, enquanto que na omissão de zinco verificou-se o maior teor de ferro nos grãos.

Em relação à parte aérea, na omissão de cobalto, de fósforo, de enxofre e na testemunha, verificaram-se uma diminuição no acúmulo de ferro; o maior acúmulo ocorreu no tratamento completo. Quanto ao teor de ferro na parte aérea, o efeito de maior realce correspondeu à omissão de potássio, que registrou o maior valor nesta característica.

A quantidade de ferro acumulada na planta inteira foi afetada no tratamento em que se omitiu o enxofre e na testemunha, porém, na omissão de potássio e de zinco, registraram-se os maiores acúmulos de ferro. Para o teor de ferro na planta inteira, o maior destaque correspondeu à omissão de potássio que propiciou um aumento no teor de ferro.

O fósforo em altas concentrações no solo, determina menor absorção de ferro (MALAVOLTA, 1980). Neste estudo o teor de fósforo no solo não prejudicou a absorção de ferro, entretanto, sua omissão na adubação proporcionou reduções nos acúmulos de ferro nas diferentes partes vegetais, exceto nas raízes, sugerindo que na falta de fósforo ocorreram problemas no transporte do ferro para a parte aérea.

Em gramíneas, a deficiência de potássio pode provocar

acúmulo de ferro na base da planta, refletindo em carência nas folhas novas (MALAVOLTA, 1980); efeito semelhante pode ter ocorrido neste estudo, onde na omissão de potássio, ocorreram maiores teores e acúmulos de ferro em todas partes vegetais, em detrimento dos grãos.

Na interação entre ferro e zinco ocorre um efeito de inibição entre estes nutrientes. Este efeito foi verificado neste estudo, já que na omissão de zinco maiores teores e maiores acúmulos de ferro nos grãos e na planta inteira foram observados.

Outra interação observada relaciona-se ao ferro com o enxofre; na omissão deste último foram verificados efeitos semelhantes à omissão de fósforo, ou seja, maiores acúmulos de ferro ocorreram nas raízes e menores nas demais partes vegetais.

MALAVOLTA & KLIEMANN (1985) incluem os feijões de maneira geral, entre as culturas sensíveis à deficiência de ferro. Por outro lado, segundo LOPES & GUILHERME (1992), em condições de cerrado, no Brasil, não têm sido registradas com freqüência, deficiências de ferro, o que sugere serem estes solos bem supridos de ferro solúvel.

No presente estudo o ferro parece não ter exercido influência negativa no crescimento do feijoeiro, porém, no plantio em solo natural (testemunha), verificaram-se menores acúmulos de ferro nas diferentes partes vegetais, fato que pode ser atribuído ao desbalanço nutricional constatado no solo.

Os teores de ferro observados neste estudo, em geral, encontram-se acima dos teores relatados por OLIVEIRA & THUNG

(1988). Quanto à distribuição do ferro na planta, as maiores quantidades estabeleceram-se nas folhas + ramos + caule, comprovando ser o ferro parcialmente móvel na planta (MALAVOLTA, 1980; VITTI, 1988 e CAMARGOS & CARVALHO, 1989).

4.13. Teor e acúmulo de manganês

As análises de variância são apresentadas nos Quadros 44 e 45, respectivamente, para os teores e quantidades acumuladas. À exceção do teor de manganês nas folhas + ramos + caule, nos grãos, na parte aérea e na planta inteira, os tratamentos apresentaram efeitos significativos sobre as demais características avaliadas.

Os Quadros 46 e 47 apresentam, respectivamente, os teores e as quantidades acumuladas de manganês nas raízes; folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro.

Nas raízes, na testemunha e na omissão de fósforo, registraram-se os maiores acúmulos e maiores teores de manganês. Em relação a folhas + ramos + caule, os efeitos mais destacados corresponderam à testemunha e à omissão de enxofre, em que verificaram-se reduções nas quantidades acumuladas de manganês; os maiores valores para esta característica ocorreram na omissão de zinco e de boro. Para o teor de manganês nestas partes

vegetais, tendências foram verificadas, semelhantes às respostas obtidas para o acúmulo.

Quanto ao acúmulo de manganês nas vagens, na falta de zinco e de boro, maiores valores foram verificados, enquanto que na testemunha e na omissão de enxofre, registraram-se os menores valores. Para os teores, quanto aos maiores valores, efeitos semelhantes aos ocorridos para o acúmulo foram constatados.

Na omissão de enxofre e na testemunha, observaram-se reduções no acúmulo de manganês nos grãos. Quanto aos maiores acúmulos, estes foram observados no tratamento completo e na omissão de zinco. Para o teor de manganês nos grãos, na omissão de zinco e de enxofre, observaram-se tendências para o maior e o menor valor, respectivamente.

Na parte aérea e na planta inteira, relacionado ao acúmulo de manganês, a omissão de zinco e de boro apresentaram os maiores valores, enquanto que a omissão de enxofre e a testemunha apresentaram os menores valores. Para o teor de manganês tanto na parte aérea como na planta inteira, as respostas tenderam a assemelhar-se às obtidas no acúmulo.

Segundo LOPES & GUILHERME (1992), em solos de regiões de cerrado, não têm sido verificadas respostas das culturas à aplicação de manganês. MALAVOLTA & KLIEMANN (1985) incluem os feijões, entre as culturas que são sensíveis à carência de manganês. Neste estudo o teor de manganês no solo parece não ter afetado o crescimento do feijoeiro, certamente por encontrar-se com um teor acima do nível crítico considerado por LOPES &

CARVALHO (1988).

QUADRO 44 - Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de manganês nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagem	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	413,78	542,81	30,56	12,56	125,93	146,14
Tratamentos	10	1131,44**	1902,65	120,15**	9,06	252,15	262,60
Resíduo	30	255,98	1353,66	18,78	4,71	158,50	160,11

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 45 - Resumo das análises de variância para os parâmetros manganês acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	2525,06*	315759,11	3260,30	15192,89*	252303,87	278597,85
Tratamentos	10	11946,39**	2590210,41**	10847,45**	77207,57**	3803985,42**	3506950,45**
Resíduo	30	741,66	269289,88	1619,71	4018,35	296258,84	297921,03

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 46 - Teor de manganês nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro. cv. Carioca. ESAL. Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Teor de manganês (ppm)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	80,00c	239,30	35,25bc	24,50	92,02	91,86
Solo natural (testemunha)	129,50a	213,30	50,00a	25,75	100,70	103,40
- N	82,50c	214,50	41,25abc	24,00	83,14	83,15
- P	124,00ab	229,90	46,00ab	24,25	90,33	99,57
- K	88,50bc	217,00	33,75c	24,00	93,44	93,31
- S	87,00bc	178,30	36,00bc	21,00	81,27	81,52
- B	83,25c	250,80	47,00a	24,00	105,60	105,20
- Co	96,00abc	252,30	43,25abc	22,00	97,15	97,19
- Cu	108,00abc	235,50	45,75ab	25,25	99,05	99,23
- Mo	100,50abc	235,30	45,25abc	25,00	99,96	99,90
- Zn	90,00abc	248,50	47,75a	26,00	103,80	103,50
C.V. (%)	15,45	16,10	10,18	8,99	13,23	13,28

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 47 - Manganês acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL. Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Manganês acumulado (µg/vaso com duas plantas)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	63c	3529a	233abcd	653a	4415ab	4478ab
Solo natural (testemunha)	246a	1497d	158d ₃	214b	1869d	2115c
- N	70c	2584bcd	208abcd	549a	3361bc	3431bc
- P	164b	2929abc	291ab	553a	3773ab	3937ab
- K	101bc	3210ab	194bcd	512a	3916ab	4017ab
- S	113bc	1842cd	182cd	281b	2305cd	2418c
- B	60c	3808ab	294a	538a	4640ab	4700ab
- Co	81c	3470ab	274abc	530a	4274ab	4355ab
- Cu	91c	3606ab	291ab	600a	4497ab	4588ab
- Mo	82c	3658ab	270abc	584a	4512ab	4494ab
- Zn	91c	3892a	312a	630a	4834a	4925a
C.V. (%)	25,79	16,78	16,23	12,35	14,12	13,78

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na interação entre o manganês e o zinco ocorre um efeito de inibição entre estes nutrientes. Este efeito pôde ser observado neste estudo, uma vez que na falta de zinco registraram-se os maiores teores e acúmulos de manganês nas várias partes vegetais do feijoeiro.

A omissão de enxofre proporcionou para o teor e para o acúmulo de manganês, nas partes vegetais, um efeito semelhante ao ocorrido para o teor e para o acúmulo de ferro, ou seja, na falta de enxofre ocorreu maior acúmulo de manganês nas raízes e menor acúmulo de manganês em outras partes da planta.

Outra interação observada relaciona-se ao manganês com o boro; na omissão deste último, maiores teores e acúmulos do primeiro nas diferentes partes vegetais foram observadas, sugerindo um efeito de inibição entre estes nutrientes.

Em relação aos teores de manganês verificados nas partes vegetais, neste estudo, eles assemelharam-se com dados de BATISTA et alii (1975) e OLIVEIRA & THUNG (1988). Quanto à distribuição do manganês na planta, as maiores quantidades estabeleceram-se nas folhas + ramos + caule, comprovando relatos de que a mobilidade do manganês na planta é parcial (MALAVOLTA, 1980; VITTI, 1988 e CAMARGOS & CARVALHO, 1989).

4.14. Teor e acúmulo de zinco

As análises de variância são apresentadas nos Quadros 48 e 49, respectivamente, para os teores e quantidades acumuladas. Os tratamentos apresentaram efeitos significativos sobre todas as características avaliadas.

Os quadros 50 e 51 apresentam, respectivamente, os teores e as quantidades acumuladas de zinco nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro.

Nas raízes, na omissão de enxofre e na testemunha, ocorreram as maiores quantidades e maiores teores de zinco; os menores valores para estas características ocorreram na omissão do próprio nutriente e na omissão de boro.

O acúmulo de zinco nas folhas + ramos + caule foi afetado pela testemunha e pela omissão de nitrogênio. Quanto ao teor de zinco nestas partes do feijoeiro, na testemunha e na omissão de nitrogênio registraram-se os menores valores.

Nas vagens, os efeitos mais destacados corresponderam à omissão de cobalto, onde verificou-se um maior acúmulo de zinco; na testemunha observou-se o menor valor para esta característica. Para o teor de zinco nas vagens, efeitos semelhantes aos observados para o acúmulo em relação aos maiores valores foram constatados.

QUADRO 48 - Resumo das análises de variância para os parâmetros teor de zinco nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	86,55	13,86	21,93	2,45	2,28	1,10
Tratamentos	10	635,55**	66,30**	42,82**	55,32**	36,63**	25,35**
Resíduo	30	79,50	13,67	10,48	6,63	6,10	6,19

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 49 - Resumo das análises de variância para os parâmetros zinco acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Causas de variação	G.L.	Quadrado Médio					
		Raízes	Folhas+Ramos+Caule	Vagens	Grãos	Parte aérea	Planta inteira
Blocos	3	404,68	2400,22	597,38	2137,09	12186,29	11072,03
Tratamentos	10	3770,96**	35400,38**	1882,44**	178254,02**	361660,63**	297037,51**
Resíduo	30	189,01	3871,55	256,25	4714,96	13362,40	13405,31

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Na testemunha, na omissão de enxofre e na omissão de nitrogênio, registraram-se os menores acúmulos de zinco nos grãos; quanto aos maiores acúmulos, as omissões de cobalto e de potássio apresentaram estas respostas. Para o teor de zinco nos grãos, a omissão de potássio e de cobalto apresentaram os maiores valores.

Na parte aérea e na planta inteira, ocorreram respostas semelhantes, com os tratamentos em que se omitiu o cobalto e o potássio, apresentando os maiores acúmulos de zinco, enquanto que na falta de enxofre, de nitrogênio e na testemunha registraram-se os menores valores. Os teores de zinco na parte aérea e na planta inteira, apresentaram, na omissão de cobalto e de potássio, os maiores valores.

Em solos sob cerrado, a deficiência natural de zinco tem sido constatada, constituindo-se em fator limitante ao desenvolvimento das culturas (LOPES & GUILHERME, 1992). MALAVOLTA & KLIEMANN (1985) incluem os feijões entre as culturas que apresentam sensibilidade média em relação às condições do solo que levam à deficiência de zinco. Por outro lado, OLIVEIRA & THUNG (1988) relatam não ser o feijão uma boa planta indicadora de deficiência de zinco. No presente estudo, o teor de zinco no solo parece não ter afetado o crescimento do feijoeiro.

QUADRO 50 - Teor de zinco nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Teor de zinco (ppm)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	39,00cd	24,47ab	13,85bc	30,83c	26,48c	26,70bc
Solo natural (testemunha)	67,07ab	15,77b	17,50abc	31,17c	22,92c	27,02abc
- N	56,80abc	16,58b	16,45abc	29,65c	23,94c	24,68c
- P	41,85cd	20,80ab	18,48abc	34,20bc	27,78abc	27,50abc
- K	41,17cd	24,33ab	15,88abc	42,83a	32,59ab	32,81ab
- S	67,90a	26,00a	21,50ab	29,27c	26,72bc	28,49abc
- B	37,50cd	22,05ab	15,40abc	34,63bc	27,51abc	27,67abc
- Co	41,47cd	27,02a	22,60a	39,03ab	32,92a	33,10a
- Cu	45,30bcd	27,70a	14,88abc	32,53c	28,44abc	28,74abc
- Mo	42,08cd	26,70a	12,77c	32,90bc	27,84abc	28,08abc
- Zn	29,10d	21,73ab	12,65c	34,40bc	27,06abc	27,11abc
C.V. (%)	19,15	16,07	19,58	7,63	8,93	8,78

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 51 - Zinco acumulado nas raízes, folhas + ramos + caule, vagens debulhadas, grãos, na parte aérea e na planta do feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991¹.

Tratamentos	Zinco acumulado (µg/vaso com duas plantas)					
	Raízes	Folhas + Ramos + Caule	Vagens	Grãos	Parte Aérea	Planta inteira
Completo	31,2c	363,7ab	87,8bc	822,5abc	1274,0ab	1305,52a
Solo natural (testemunha)	127,2a	109,7d	54,9c	258,8d	423,4e	550,6d
- N	50,9c	199,8cd	90,4bc	676,5c	966,7cd	1017,6bc
- P	55,1bc	263,9bcd	116,5ab	780,3abc	1160,7bc	1215,8ab
- K	46,2c	360,9ab	90,2bc	914,8ab	1365,9ab	1412,1a
- S	88,3b	271,9abc	104,3ab	385,5d	761,7d	850,0c
- B	26,1c	334,9abc	95,4b	777,6abc	1207,9abc	1234,0ab
- Co	34,8c	371,3ab	141,0a	936,4a	1448,7a	1483,5a
- Cu	37,8c	426,0a	95,7b	766,9abc	1288,6ab	1326,4a
- Mo	34,4c	415,5ab	81,3bc	761,5bc	1258,3ab	1292,7ab
- Zn	29,4c	340,7abc	82,6bc	834,0abc	1257,3ab	1286,7ab
C.V. (%)	26,94	19,79	16,93	9,54	10,24	9,82

¹ Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O efeito da omissão de boro, que condicionou um decréscimo no teor e acúmulo de zinco nas raízes, pode relacionar-se à interação entre estes nutrientes relatada por MALAVOLTA (1980). Quanto à omissão de potássio, em que observaram-se maiores teores e acúmulos de zinco nos grãos, na parte aérea e na planta inteira, o fato pode relacionar-se a um efeito de interação entre o potássio e o ferro, e deste último com o zinco. O potássio favorece a absorção de ferro, portanto em sua falta, este efeito pode não ter ocorrido, o que pode ter contribuído para maior absorção de zinco, desfavorecendo a absorção de ferro, o que comprova a relação de inibição existente entre estes nutrientes.

Quanto à interação entre nitrogênio e zinco, verificada neste estudo, esta é contrária aos resultados obtidos por FEITOSA et alii (1980), que verificaram uma diminuição no teor de zinco nas sementes causado pelo incremento nas doses de nitrogênio.

O fato da omissão de cobalto ter determinado maior teor e acúmulo de zinco nas vagens, nos grãos, na parte aérea e na planta inteira, pode ter ocorrido pelas mesmas razões comentadas para o efeito decorrente da relação entre cobre e cobalto, o que sugere um efeito de inibição entre estes nutrientes.

Quanto à relação entre enxofre e zinco observada neste estudo, os efeitos assemelharam-se aos ocorridos na relação entre o enxofre com cobre, com ferro e com o manganês, ou seja, na falta de enxofre houve um aumento no teor de zinco nas raízes e uma redução nos grãos, na parte aérea e na planta, sugerindo

problemas no transporte do nutriente das raízes para a parte aérea.

O teor de zinco nas diferentes partes vegetais, constatado neste estudo, encontra-se abaixo dos teores relatados por BATISTA et alii (1975), OLIVEIRA & THUNG (1988) e VIEIRA (1989). Quanto à distribuição do nutriente na planta, as maiores quantidades de zinco estabeleceram-se nos grãos.

4.15. Extração e exportação de nutrientes

Considerando a adubação completa e uma população de 240.000 plantas por hectare, no Quadro 52 encontram-se as quantidades de nutrientes extraídos e exportados pelo feijoeiro no presente estudo.

Em linhas gerais, os resultados relacionados à extração e exportação de nutrientes concordam com os obtidos por GALLO & MIYASAKA (1961), HAAG et alii (1967) e COBRA NETO et alii (1970), os quais verificaram que quanto à absorção de macronutrientes, eles dispõem-se na seguinte ordem decrescente: nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e fósforo. Outro aspecto a ser considerado relaciona-se à eficiência da cultivar Carioca, no que concerne à extração e uso dos nutrientes para a produção (AMARAL et alii, 1980 e SILVA et alii, 1989).

Nos estudos de GALLO & MIYASAKA (1961) e de COBRA NETO

et alii (1971), que envolveram as cultivares Chumbinho Opaco e Roxinho, respectivamente, à exceção do potássio e do enxofre, os macronutrientes foram extraídos em menores quantidades comparados às quantidades extraídas pela cultivar Carioca no presente estudo. Quanto à exportação, todos os macronutrientes foram mobilizados em maiores quantidades pela cultivar Carioca, comprovando a eficiência desta quanto ao uso destes para a produção.

Em relação aos micronutrientes, a extração destes obedeceu à seguinte ordem decrescente: ferro, manganês, boro, zinco e zinco. Entretanto, quanto às quantidades exportadas, a seqüência decrescente é a seguinte: ferro, zinco, manganês, boro e cobre.

QUADRO 52 - Estimativas da extração e exportação de nutrientes de um Latossolo Vermelho-Amarelo pelo feijoeiro, cv. Carioca. ESAL, Lavras-MG, 1991.

Nutrientes	Extração (kg/ha)	Exportação	
		(kg/ha)	(%) ¹
N	121	94	77
P	18	15	27
K	85	47	55
Ca	66	9	13
Mg	21	7	33
S	21	12	57
B	0,20	0,04	20
Cu	0,06	0,02	33
Fe	1,29	0,36	27
Mn	0,53	0,07	13
Zn	0,15	0,09	60

¹ Percentagem de nutrientes contidos nos grãos (exportados) em relação às quantidades contidas na planta inteira (extraída).

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que o estudo foi conduzido, os resultados permitem as seguintes conclusões:

A omissão de enxofre afetou com maior intensidade o crescimento e a produção de grãos do feijoeiro, sendo o conteúdo deste nutriente no solo considerado limitante para a planta.

As omissões de fósforo e de potássio, mesmo com altos teores no solo, juntamente com as omissões de nitrogênio e de boro, afetaram o crescimento e a produção de grãos do feijoeiro, admitindo, portanto, a possibilidade de resposta da planta através de incrementos em seus suprimentos.

O intenso decréscimo no teor de fósforo e potássio, onde não ocorreu o suprimento destes na adubação, comprova a necessidade de adubações com estes nutrientes, após o cultivo do feijoeiro, para que seja mantida a fertilidade dos solos.

Por outro lado, a reposição de outros nutrientes essenciais, como o enxofre, no caso deste estudo, deve ser observada para o atendimento das exigências nutricionais do feijoeiro.

A extração de nutrientes pelo feijoeiro obedece em termos de quantidade, à seguinte ordem decrescente: nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, fósforo, ferro, manganês, boro, zinco e cobre. Quanto à exportação, a seqüência, em relação à quantidade, em ordem decrescente é a seguinte: nitrogênio, potássio, fósforo, enxofre, cálcio, magnésio, ferro, zinco, manganês, boro e cobre.

Foram constatadas interações entre nutrientes, com reflexos nos seus teores e/ou acúmulos na planta, sendo as relações de maior destaque as seguintes:

- A omissão do primeiro aumentou o teor e/ou acúmulo do segundo: K x N, P x Ca, B x Ca, Mo x Ca, Zn x Ca, Co x Ca, K x Mg, K x S, Co x Cu, Zn x Fe, K x Fe, Zn x Mn, B x Mn, K x Zn e Co x Z.

- A omissão do primeiro diminuiu o teor e/ou acúmulo do segundo: S x N, K x P, S x K, S x Ca, S x Mg, N x Mg, N x S, P x S, N x B, S x B, N x Cu, S x Cu, S x Fe, S x Mn, N x Zn e S x Zn.

O solo em estudo apresentou um desbalanço nutricional, que impediu que o feijoeiro manifestasse todo o seu potencial produtivo.

6. RESUMO

Com o objetivo de determinar as limitações nutricionais para cultura do feijoeiro em um Latossolo Vermelho-Amarelo do norte de Minas Gerais, foi conduzido um estudo em casa-de-vegetação, fundamentado na técnica de diagnose por subtração.

O experimento teve onze tratamentos, sendo o delineamento experimental adotado o de blocos casualizados, com quatro repetições.

Os resultados permitiram concluir que as omissões de enxofre, de fósforo, de potássio, de nitrogênio e de boro afetaram o crescimento e a produção de grãos do feijoeiro, sendo que os teores destes nutrientes no solo, constituíram as causas destas limitações.

A quantidade de nutrientes extraídos obedeceu à seguinte ordem decrescente: N, K, Ca, Mg, S, P, Fe, Mn, B, Zn, Cu. A quantidade exportada obedeceu a seguinte ordem decrescente: N, K, P, S, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, B, Cu.

Foram constatadas interações entre nutrientes, com reflexos nos seus teores e acúmulos nas partes vegetais e na planta.

7. SUMMARY

NUTRITIONS LIMITATIONS FOR THE BEAN CULTURE (*Phaseolus vulgaris* L.) IN SOIL IN THE NORTH OF MINAS GERAIS

With the purpose to find out the nutritions limitations for the bean culture in Red-Yellow latosol in the North of Minas Gerais, it was carried out one study in greenhouse conditions, under subtraction diagnose technique.

The experiment had eleven treatments, been the experimental design a randomized blocks with four repetitions.

The results permitted some conclusions, the sulphur, phosphorus, potassium, nitrogen and boro affect the growth and the grains production of the bean culture and that the levels from those soil nutrients were the main cause of those limitations.

The nutrients quantity extracted obeyed the following decreasing order: N, K, Ca, Mg, S, P, Fe, Mn, B, Zn, Cu. The exported quantity obeyed the following decreasing order: N, K, P, S, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, B, Cu.

It was found interaction between nutrients with reflections in their levels and stored up in the green parts and also in the whole plant.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADAMS, J.F.; ADAMS, F. & ODOM, J.W. Interaction of phosphorus rates and soil pH on soybean yield and soil solution composition of two phosphorus sufficient ultisols. Soil Science Society of American Journal, Madison, 46:323-28, 1982.
2. ALMEIDA, L.D. de & BULISANI, E.A. Técnicas para aumentar a rentabilidade do feijoeiro. Correio Agrícola (BAYER), São Paulo, 1:236-43, 1980.
3. ———; ———; GALO, B.P. & SABINO, J.C. Respostas de três cultivares de feijoeiro à adubação nitrogenada. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1, Goiânia, 1982. Anais... Goiânia, EMBRAPA-CNPAF, 1982. P.184-7.

4. ALMEIDA, D.L. de; PESSANHA, G.G. & PENTEADO, A. de F.
Efeito da calagem e da adubação fosfatada e nitrogenada na nodulação e produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronômica, Rio de Janeiro, 8(7):127-30, 1973.
5. ALVAREZ V., V.H. Enxofre: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiência e excesso. In: BORKERT, C.M. & LANTMANN, A. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina, EMBRAPA-CNPSO/IA-PAR/SBCS, 1988. p.31-59.
6. AMARAL, F.A.L.; REZENDE, H.E.C. de; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. do & MALAVOLTA, E. Exigências de nitrogênio, fósforo e potássio de alguns cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 37:223-39, 1980.
7. BARBOSA FILHO, M.P. Nutrição e adubação do arroz: sequeiro e irrigado. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 120p. (Boletim Técnico, 9).

8. BARBOSA FILHO, M.P.; JUNQUEIRA NETTO, A.; GUEDES, G.A. de A. & REZENDE, P.M. de. Efeitos de idade, fósforo, molibênio e cobalto no teor percentual de K em diferentes partes do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ciência e Prática*, Lavras, 3(2):117-24, jul./dez. 1979.
9. BATAGLIA, O.C. Micronutrientes: disponibilidade e interação. In: BOKERT, C.M. & LANTMANN, A. *Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira*. Londrina, EMBRAPA-CNPS/IAPAR/SBCS, 1988. p.121-32.
10. BATISTA, C.M.; BRUNE, W. & BRAGA, J.M. Efeitos da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). V. Absorção de micronutrientes. *Experimentiae*, Viçosa, 19(3):33-57, fev. 1975.
11. BISSANI, C.A. & TEDESCO, M.J. O enxofre no solo. In: BOKERT, C.M. & LANTMANN, A. *Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira*, Londrina, EMBRAPA-CNPS/IAPAR/SBCS, 1988. p.11-29.
12. BOTELHO, S.M. Comportamento de variedades do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em diferentes níveis de P, em casa-de-vegetação. Lavras, ESAL, 1986. 93p. (Tese MS).

13. BRAGA, J.M. Resposta do feijoeiro 'Rico 23' à aplicação de enxofre, boro e molibdênio. *Revista Ceres*, Viçosa, 19(103):222-6, 1972.
14. BULISANI, E.A.; ALMEIDA, L.D'A de & ALVES, S. Resposta de cinco cultivares de feijão a níveis crescentes de N, P₂O₅ e K₂O em condições de campo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1, Goiânia, 1982. *Anais...* Goiânia, EMBRAPA-CNPAP, 1982. p.187-9.
15. BUZETTI, S.; SÁ, M.E. de; MORELLO, S.; DEZIDÉRIO, N.D. Efeitos de micronutrientes na cultura do feijoeiro cv. Carioca. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1, Goiânia, 1982. *Anais...* Goiânia, EMBRAPA-CNPAP, 1982. p.173-5.
16. CABALLERO, S.V.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K.; MATSUI, E. & VICTORIA, R.L. Utilização do fertilizante nitrogenado aplicado a uma cultura de feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 20(9):1031-40, set. 1985.
17. CAMARGOS, S.L. & CARVALHO, J.G. de. Tópicos de nutrição mineral de plantas. 2. Absorção de nutrientes pelas folhas. Lavras, ESAL, 1989. 34p. (Mimeografado).

18. CASAGRANDE, J.C. & SOUZA, O.C. Efeito de níveis de enxofre sobre quatro gramíneas forrageiras tropicais em solos sob vegetação de cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 17(1):21-5, jan. 1982.

19. COBRA NETO, 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"*, Piracicaba, 28:257-74, 1971.

20. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. Lavras, 1989. 159p.

21. CORRÊA, J.R.V.; JUNQUEIRA NETTO, A.; REZENDE, P.M. de & ANDRADE, L.A. de B. Efeitos de *Rhizobium*, molibdênio e cobalto sobre o feijoeiro comum cv. Carioca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 25(4):513-9, abr. 1990.

22. CRAVO, M. da S.; BRAGA, J.M.; AMARAL, F. de A.L. do & ALVAREZ V., V.H. Efeitos da interação fósforo x enxofre sobre a produção de matéria seca e sobre os níveis críticos de P e S no solo e em plantas de soja (*Glycine max* L.), em solos com e sem calagem. *Revista Ceres*, Viçosa, 32(179):12-30, 1985.
23. DYNIA, J.F. & CUNHA, N.G. Limitações nutricionais do feijoeiro em solo Brunizem Avermelhado na região de Corumbá. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 21(11):1219-21, nov. 1986.
24. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Norte de Minas Gerais: área de atuação da SUDENE. Recife, 1979. 408p. (Boletim Técnico, 60).
25. FEITOSA, C.T.; RONZELLI JUNIOR, P.; ALMEIDA, L. D'A. de; VEIGA, A.A.; HIROCE, R. & JORGE, J.P.N. Adubação NP para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) na presença e na ausência de calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 4(3):156-9, 1980.

26. FERRARI NETO, J. Limitações nutricionais para o colonião (*Panicum maximum* Jacq.) e braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) em Latossolo da região noroeste do Estado do Paraná. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1991. 126p. (Tese MS).
27. FONTES, L.A.N. Nota sobre efeitos da aplicação de adubo nitrogenado e fosfatado, calcário e inoculante na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ceres*, Viçosa, 19(103):211-6, 1972.
28. FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & BORGES, A.C. Disponibilidade do enxofre em três extratores químicos em Latossolo de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 6(2):125-30, 1982.
29. FORESTIERI, E.F. & DE-POLLI, H. Calagem, enxofre e micronutrientes no crescimento do milho e da mucuna preta num Podzólico Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 14(2):167-72, 1990.
30. FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Anuário estatístico do Brasil - 1991. Rio de Janeiro, 1991. v.51, 1022p.

31. GALLO, J.R. & MIYASAKA, S. Composição química do feijoeiro e absorção de elementos nutritivos do florescimento à maturação. *Bragantia*, Campinas, 20(40):867-84, set. 1961.
32. GALRÃO, E.Z. Resposta das culturas aos micronutrientes boro e zinco. In: BOKERT, C.M. & LANTMANN, A. *Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira*. Londrina, EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. p.205-37.
33. GARCIA, L. Efeito dos níveis de saturação em bases e micronutrientes sobre a produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Lavras, ESAL, 1990. 83p. (Tese MS).
34. GIÚDICE, R.M. del; FREIRE, F.M. & TANAKA, R.T. Nutrição mineral e adubação do arroz. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 5(55):40-50, jul. 1979.
35. GOMES, F.P. *Curso de estatística experimental*. 12.ed. Piracicaba, Nobel, 1987. 467p.
36. GUEDES, G.A. de A. & JUNQUEIRA NETTO, A. Calagem e adubação. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 4(46):21-3, out. 1978.

37. HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H. & BLANCO, H.G.
Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro.
Bragantia, Campinas, 26(30):380-91, set. 1967.
38. HILL, J. The remobilization of nutrients from leaves.
Journal Plant Nutrition. New York, 2(4):407-44, 1980.
39. HIROCE, R. & GALLO, J.R. Efeito do enxofre na produção da
soja. *Bragantia*, 31:XI-XII, jan. 1972. (Nota 3).
40. INFORZATO, R. & MIYASAKA, S. Sistema radicular do feijoei-
ro em dois solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*,
Campinas, 22(2):477-82, set. 1963.
41. JUNQUEIRA NETTO, A. Ensaio exploratório sobre o efeito do
alumínio tóxico em variedades de feijão (*Phaseolus
vulgaris* L.) em solos sob vegetação de cerrado. In:
REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1, Goiânia,
1982. Anais... Goiânia, EMBRAPA-CNPAF, 1982. p.191-3.
42. ————— & ABREU, A. de F.B. Adubação do feijoeiro.
Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 8(9):7-8, jun.
1982.

43. JUNQUEIRA NETTO, A.; SANTOS, O.S. dos; AIDAR, H. & VIEIRA, C. Ensaio preliminar sobre a aplicação de molibdênio e de cobalto na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ceres*, Viçosa, 24(136):628-36, 1977.
44. KOLLMAN, G.E.; STREETER, J.C.; JEFFERS, D.L. & CURRY, R.B. Accumulation and distribution of mineral nutrients, carbohydrate, and dry matter in soybean plants as influenced by reproductive sink size. *Agronomy Journal*, Madison, 66:549-54, July/Aug. 1974.
45. KUMAR, V. & SINGH, M. Interactions of sulfur, phosphorus, and molybdenum in relation to uptake and utilization of phosphorus by soybean. *Soil Science*, Maryland, 130(1):26-31, July 1980a.
46. ——— & ———. Sulfur, phosphorus and molybdenum interaction in relation to growth, uptake and utilization of sulfur in soybean. *Soil Science*, Maryland, 129(5):297-304, May 1980b.
47. LOPES, A.S. *Manual de fertilidade do solo*. São Paulo, ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.

48. LOPES, A.S. Mineralogia do potássio em solos do Brasil.
In: YAMADA, T.; IGUE, T.; MUZILLI, O. & USHERWOOD, N.R.
Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, Fundação IAPAR, 1982. p.51-65.
49. ——— & CARVALHO, J.G. de. Micronutrientes: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: BORKERT, C.M. & LANTMANN, A. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina, EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCCS, 1988. p.133-78.
50. ——— & GUILHERME, L.R.G. Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária. São Paulo. ANDA, 1992. 60p. (Boletim Técnico, 5).
51. McCLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M. & LOTT, W.L. Analysis of several Brazilian soils in relation to plant responses to sulfur. *Soil Science Society American Proceeding*, 23:221-4, 1959.
52. MACHADO, J. dos S.; JUNQUEIRA NETTO, A.; GUEDES, G.A. de A. & REZENDE, P.M. Efeitos de fósforo, molibdênio e cobalto sobre o feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivado em Oxissolos. *Ciência e Prática*, Lavras, 3(2):101-6, jul./dez. 1979.

53. MAFRA, R.C.; VIEIRA, C.; BRAGA, J.M.; SIQUEIRA, C. & BRANDES, D. Efeitos da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). IV. Absorção de nutrientes. *Experimentiae*, Viçosa, 17(9):217-39, maio 1974.
54. MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.
55. ———. Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo, Ceres, 1976. 528p.
56. ———. Nutrição e adubação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1, Campinas, 1971. Anais... Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1972. p.209-42.
57. ———. Nutrição e adubação do feijão. O Estado de São Paulo, São Paulo, 14 jan. 1971. Suplemento Agrícola 852, p.6.
58. ———; DAMIÃO FILHO, C.F.; VOLPE, C.F.; MACHADO JUNIOR, G.R.; VELHO, L.M.S.; ROSA, P.R.F. & LAURENTIZ, S. de. Deficiências e excessos minerais no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Carioca). *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, 37:701-18, 1980.

59. MALAVOLTA, E. & KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais no cerrado.** Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1985. 136p.
60. ——— & MURAOKA, T. **Avaliação do estado nutricional e da fertilidade do solo; métodos de vegetação diagnose por subtração em vasos.** Piracicaba, CENA-USP, 1985. 7p. (Mimeografado).
61. ———; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 210p.
62. MARINHO, M.L. **Resposta das culturas aos micronutrientes ferro, manganês e cobre.** In: BOKERT, C.M. & LANTMANN, A. **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira,** Londrina, EMBRAPA-CNPS/ IAPAR/SBCS, 1988. p.239-64.
63. MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S. & IGUE, T. **Respostas do feijoeiro à adubação com N, P e K em solo orgânico de Ribeirão Preto.** *Bragantia*, Campinas, 26:V-VII, jan. 1967. (Nota 2).

64. MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S.; ALVES, S. & ROCHA, T.R. Adubação mineral do feijoeiro. III. Efeito de N, P, K, da calagem e de uma mistura de enxofre e micronutrientes, em solo massapê-salmourão. *Bragantia*, Campinas, 25(15):179-88, ago. 1966a.
65. ———; IGUE, T. & CAMPANA, H. Adubação mineral do feijoeiro. II. Efeitos de N, P, K da calagem e de uma mistura de enxofre e micronutrientes em terra-roxa-misturada. *Bragantia*, Campinas, 25(13):145-59, jul. 1966b.
66. ———; ——— & FREIRE, E.S. Adubação do feijoeiro em solo derivado do arenito de Bauru. *Bragantia*, Campinas, 24(20):231-45, abr. 1965a.
67. ———; ———; ——— & MASCARENHAS. Adubação verde, calagem e adubação mineral do feijoeiro em solo com vegetação de "cerrado". *Bragantia*, Campinas, 24(26):321-38, maio 1965b.
68. ———; ———; ———; SCHMIDT, N.C. & LEITE, N. Adubação mineral do feijoeiro. V. Efeitos de N, P, K e de uma mistura de micronutrientes em dois solos do Vale do Paraíba. *Bragantia*, Campinas, 25(28):307-16, nov. 1966c.

69. MIYASAKA, S.; MASCARENHAS, H.A.A.; FREIRE, E.S.; ROCHA, T.R.; ALVES, S. & ISSA, E. Adubação mineral do feijoeiro. VI. Efeitos de N, P, K, S e de uma mistura de micronutrientes, em solo massapê-salmourão. *Bragantia*, Campinas, 25(34):371-84, dez. 1966d.
70. ———; PETTINELLI, A.; FREIRE, E.S. & IGUE, T. Adubação mineral do feijoeiro. IV. Efeitos de N, P, K, da calagem e de uma mistura de enxofre e micronutrientes em Tietê e Tatuí. *Bragantia*, Campinas, 25(27):297-305, nov. 1966e.
71. MORAES, J.F.V. Calagem e adubação. In: ZIMMERMANN, M.J. de O.; ROCHA, M. & YAMADA, T. *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p.261-301.
72. NEPTUNE, A.M.L. & MURAOKA, T. Aplicação de uréia ^{15}N em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Carioca. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 2(1):-51-5, 1978.

73. NEPTUNE, A.M.L. & PEREZ, A.J.L. Disponibilidade de fósforo e correlações entre formas e quantidades absorvidas pelo feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) em solos do Estado de São Paulo. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 44:769-800, 1987.
74. NOVAIS, R.F. & BRAGA FILHO, L.J. Aplicação de "tufito" e NPK na adubação do feijão, em um solo de Patos de Minas. Revista Ceres, Viçosa, 18(98):308-14, 1971.
75. OLIVEIRA, I.P. de; KLUTHCOUSKI, J. & CARVALHO, J.R.P. de. Efeitos de macro e micronutrientes na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em Latossolo Vermelho Escuro. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1, Goiânia, 1982. Anais... Goiânia, EMBRAPA-CNEAF, 1982. p.214-6.
76. ————— & MALAVOLTA, E. Influência do boro no desenvolvimento e composição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 38:309-18, 1981.

77. OLIVEIRA, I.P. de & THUNG, M.D.T. Nutrição mineral. In: ZIMMERMANN, M.J. de O.; ROCHA, M. & YAMADA, T. *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba, Associação para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p.175-212.
78. —————; —————; KLUTHCOUSKY, J.; AIDAR, H. & CARVALHO, J.R.P. de. Avaliação de cultivares de feijão quanto a eficiência no uso de fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 22(1):39-45, jan. 1987.
79. OLIVEIRA, S.A. de; BLANCO, S.A. & ENGLEMAN, E.M. Influência do boro nos parâmetros morfológicos e fisiológicos de crescimento do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 17(5):683-8, maio 1982.
80. PARRA, M.S.; HOEPFNER, M.A. & VOSS, M. Adubação do feijoeiro no Estado do Paraná. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRO-NÔMICO DO PARANÁ. *Cultura do feijão no Estado do Paraná*. Paraná, 1980. p.33-45. (Circular IAPAR, 18).
81. PORTES, T. de A. Ecofisiologia. In: ZIMMERMANN, M.J. de O.; ROCHA, M. & YAMADA, T. *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba, Associação para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p.125-56.

82. PRETTY, K.M. O potássio e a qualidade da produção agrícola. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O. & USHERWOOD, N.R. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato/Instituto Internacional da Potassa/Fundação IAPAR, 1982. p.177-94.
83. RAIJ, B.V. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 142p.
84. ————. Fertilidade do solos e adubação. Piracicaba, Ceres/Potafos, 1991. 343p.
85. RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B. dos & REIS, W.P. Comportamento de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em dois níveis de saturação de alumínio em solo de cerrado. Ciência e Prática, Lavras, 10(1):41-50, jan./abr. 1986.
86. ROCHA, M. & MALAVOLTA, E. Perspectiva de demanda, comercialização e produção industrial de enxofre e micronutrientes para a agricultura. In: BOKERT, C.M. & LANTMANN, A. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina. EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. p.277-309.

87. RONZELLI JUNIOR, P.; VIEIRA, C.; BRAGA, J.M. & SEDIYAMA, C.S. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à calagem e adubação fosfatada. *Revista Ceres*, Viçosa, 32(184):500-24, 1985.
88. ROSOLEM, C.A. Nutrição e adubação do feijoeiro. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 91p. (Boletim Técnico, 8).
89. RUSCHEL, A.P.; BRITTO, D.P.P. de S., & DOBEREINER, J. Fixação simbiótica de nitrogênio atmosférico em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). II. Influência do magnésio, do boro, do molibdênio e da calagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, 1:141-5, 1966.
90. —————; ROCHA, A.C. de M. & PENTEADO, A. de F. Efeito do boro e do molibdênio aplicados à diferentes revestimentos da semente de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, 5:49-52, 1970.
91. SILVA, A.J. da; RAMALHO, M.A.P.; GUEDES, G.A. de A. & VALE, F.R. do. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à adubação nitrogenada. I. Produção de grãos e seus componentes. *Ciência e Prática*, Lavras, 13(3):348-55, set./dez. 1989.

92. SILVA, J.B.S., coord. **Fertilidade do solo**. Lavras, ESAL, s.d. V.1, 160p.
93. USHERWOOD, N.R. **Interações do potássio com outros íons**.
In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O. & USHERWOOD, N.R. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato/Instituto Internacional da Potassa/Fundação IAPAR, 1982. p.227-47.
94. VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C. dos & VIEIRA, M. de N.F. **Solos: propriedades, classificação e manejo**. Brasília, MEC/ABEAS, 1988. 154p.
95. VIEIRA, R.F. **Efeito da calagem sobre a composição química, qualidade fisiológica e desempenho, no campo, de sementes de feijão**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 24(4):409-15, abr. 1989.
96. VITTI, G.C. **Tópicos de nutrição mineral de plantas**. Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, 1988. 53p.
97. ———; FORNASIERI FILHO, D.; FERREIRA, M.E.; REGAZZI, D. & LIEM, T.H. **Efeito de doses de gesso na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, 57(31):119-32, 1982.

98. VITTI, G.C.; MALAVOLTA, E. & FERREIRA, M.E. Respostas de culturas anuais e perenes à aplicação de enxofre. In: BOKERT, C.M. & LANTMANN, A. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina, EMBRAPA/CNPS/IA-PAR/SBCS, 1988. p.61-85.
99. VOMOCIL, J.A. Porosity. In: BLACK, C.A. **Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling.** Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p.299-314.
100. WILCOX, G.E. & FAGERIA, N.K. Deficiências nutricionais do feijão, sua identificação e correção. Goiânia, EMBRAPA/CNPAP, 1976. 22p. (EMBRAPA-CNPAP. Boletim Técnico, 5).