

# ESTUDOS SÔBRE A NUTRIÇÃO MINERAL DO FEIJOEIRO (*PHASEOLUS VULGARIS* L., VAR. ROXINHO) \*

A. COBRA NETTO \*\*

W. R. ACCORSI \*\*\*

E. MALAVOLTA \*\*\*\*

## 1. RESUMO

No presente trabalho foi estudada a marcha de absorção de macronutrientes pelo feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., var. roxinho) em condições de campo. Verificou-se que a produção mais alta de matéria seca ocorreu quando as plantas tinham 56 dias de idade, o que corresponde aproximadamente a dois terços do período necessário para completar o ciclo. As quantidades totais de macronutrientes absorvida em kg/ha foram: N-101, P-9, K-93, Ca-54, Mg-18 e S-25.

Em outro experimento foram obtidos, cultivando-se as plantas em solução nutritiva, sintomas típicos de carência dos macronutrientes estudados. Cortes anatômicos das folhas mostraram que a omissão dos elementos do substrato causava lesões nos tecidos, sendo os cloroplastos as organelas particularmente afetadas. Os seguintes níveis foliares de elementos caracterizam deficiência dos mesmos nas condições experimentais: N-1,54%, P-0,13%, K-0,93%, Ca-0,42%, Mg-0,48%, S-0,70%.

## 2. INTRODUÇÃO

O feijão constitui a fonte mais importante de proteína vegetal para a alimentação do povo brasileiro, motivo pelo qual é cultivado em todo o território nacional. A produção média por hectare no período 1967/1969 baixou de 698 para 606 kg/ha; não tendo havido variação na área cultivada pode-se concluir que a produtividade dessa leguminosa alimentícia caiu com a taxa de quase 5% ao ano no período considerado.

Ao fazer uma revisão da literatura nacional sobre a nutrição e a adubação do feijoeiro, MALAVOLTA (1971) concluiu que, além do problema possivelmente maior relacionado à ecologia e de outros a

\* Entregue para publicação em 21-12-1971. Parte da tese de doutoramento do primeiro autor apresentada à E.S.A. "Luiz de Queiroz" USP, Piracicaba, São Paulo.

\*\* Departamento de Solos e Geologia — ESALQ-USP.

\*\*\* Departamento de Botânica — ESALQ-USP.

\*\*\*\* Departamento de Química — ESALQ-USP.

falta de adubação seria um fator limitante em diversas regiões do País. No trabalho em questão, além de uns poucos trabalhos básicos sobre marcha de absorção e diagnose foliar, foram analisados 177 experimentos de adubação, conduzidos no Amazonas, Pará, Minas Gerais, Goiás, D. Federal, São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul; as respostas obtidas assim se resumem: Nitrogênio — 48, Fósforo — 77, Potássio — 14, Calagem — 22, Matéria Orgânica — 23, Micronutrientes — 17.

A importância econômica da cultura, de um lado e o pequeno número de estudos básicos de outro, justificam pois, a presente contribuição em que se pretendeu estudar: as quantidades de macronutrientes extraídas pelo feijoeiro em diversas épocas de desenvolvimento da planta; os efeitos das deficiências minerais no crescimento, composição química; obter um quadro sintomatológico e das variações anatômicas provocados pe a omissão de macronutrientes.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Variedade

Foi utilizada a variedade "roxinho" cujas sementes foram previamente desinfectadas com "Abavit-Novo".

#### 3.2 Ensaio de campo

3.2.1. O experimento foi instalado em solo da série "Luiz de Queiroz" (RANZANI et al., 1966) cujas características químicas se encontram na Tabela 1.

TABELA 1. — Características da terra em que foi instalado o ensaio de campo.

pH	6,1
Matéria orgânica %	2,06
Nitrogênio (N) %	0,16
PO <sub>4</sub> e. mg/100 g de solo	0,15
K+ trocável e. mg/100 g de solo	0,40
Ca++ trocável e. mg/100 g de solo	3,00
Mg++ trocável e. mg/100 g de solo	1,00
H+ trocável e. mg/100 g de solo	4,90

3.2.2 A área do ensaio foi dividida em duas parcelas de 10 x 20 m; entre as linhas usou-se o espaçamento de 0,4 m; nos sulcos foram aplicados 500 kg de superfosfato simples, 200 de cloreto de potássio por hectare e 100 kg de nitrocálcio de Cubatão; 20 dias após a semeadura foram aplicados em cobertura 200 kg de nitrocálcio/ha.

3.2.3 Em cada uma das duas parcelas foram colhidas 100 plantas ao acaso nas seguintes épocas:

Dias após a semeadura	Estado fisiológico da cultura
5 a 8	Germinação
15	1. <sup>a</sup> amostragem, 1. <sup>a</sup> folha composta aberta
20	Aplicação do nitrogênio em cobertura
25	2. <sup>a</sup> amostragem. Planta formada com 3 a 4 folhas compostas
34	3. <sup>a</sup> amostragem. Plantas apresentando botões florais
37	Início do florescimento
46	4. <sup>a</sup> amostragem. Máximo de floração
56	5. <sup>a</sup> amostragem. Final de floração e vagens formadas
66	6. <sup>a</sup> amostragem. Vagens maduras e queda das folhas
77	7. <sup>a</sup> amostragem. Vagens e plantas na maioria secas e com poucas folhas

As amostras tiveram suas raízes lavadas com HCl 0,2 N e depois com água destilada; seguiu-se a separação das diversas partes, a pesagem do material fresco e, em seguida, tomou-se o peso seco a 70°C.

### 3.3 Ensaio em casa de vegetação

3.3.1. Usou-se um delineamento experimental em blocos inteiramente casualizados com 3 repetições; cada repetição consistiu de 4 plantas por litro de solução de HOAGLAND & ARNON (1950) modificada de acordo com os tratamentos seguintes:

Tratamentos	Soluções
Completo	Completa (macronutrientes + micronutrientes)
— N	Com omissão de nitrogênio
— P	Com omissão de fósforo
— K	Com omissão de potássio
— Ca	Com omissão de cálcio
— Mg	Com omissão de magnésio
— S	Com omissão de enxôfre

3.3.2 A colheita das plantas se fez quando as mesmas começavam a mostrar sintomas de carência; o procedimento usado foi o descrito em 3.2.3.

Os sintomas visuais foram anotados; as alterações anatômicas foram examinadas em cortes à mão livre procedidas nos folíolos.

#### 3.4. Análise química e análise estatística

Foram procedidas por métodos convencionais.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1. Ensaio de campo

4.1.1 A Tabela 4.1 resume a marcha de produção da matéria seca por 100 plantas. Foi obtido um coeficiente de correlação significativo a 1% de probabilidade entre peso fresco e peso seco ( $r = 0,965$ ).

Pode-se observar que a produção de matéria seca atingiu o seu máximo aos 56 dias, ou seja, quando as plantas completaram aproximadamente 2/3 do seu ciclo; esse período coincide com o final da floração e formação de vagens.

TABELA 4.1. — Material sêco produzido nas diversas partes e idades do feijoeiro. Pêso médio da matéria seca de 100 plantas em g.

Idade da planta em dias	Partes do vegetal					total
	Raiz	Caule	Fôlha	Flor	Vagem	
15	2,1	5,0	16,7	—	—	23,8
25	8,0	16,7	68,8	—	—	93,5
34	23,7	55,8	220,8	—	—	300,3
46	33,7	129,9	327,9	19,7	—	511,2
56	39,5	205,5	597,5	8,4	97,2	948,1
66	30,6	155,8	155,6	—	271,2	613,2
77	32,1	160,0	29,3	—	489,9	711,3

4.1.2. As Tabelas 4.2 e 4.3 dão respectivamente a concentração de macronutrientes nas plantas em função da época de amostragem e as quantidades totais calculadas por hectare (250.000 plantas e produção de 1 t/ha).

TABELA 4.2. — Teores médios dos macronutrientes na matéria seca das plantas.

Dias após o plantio	Parte da planta	Nutrientes					
		N%	P%	K%	Ca%	Mg%	S%
15	Raiz	3,22	0,31	3,05	1,10	0,57	0,76
	Caule	3,29	0,47	4,82	1,78	0,48	0,89
	Folha	4,69	0,44	3,87	1,99	0,54	0,59
25	Raiz	2,95	0,28	2,47	1,20	0,33	0,68
	Caule	2,90	0,22	4,55	1,92	0,29	0,71
	Folha	4,48	0,27	3,65	2,92	0,57	0,64
34	Raiz	2,10	0,15	2,17	0,98	0,22	0,67
	Caule	2,38	0,21	3,82	1,34	0,25	0,78
	Folha	3,76	0,32	3,12	2,82	0,39	0,59
46	Raiz	1,61	0,11	2,10	1,72	0,21	0,83
	Caule	1,61	0,19	3,02	1,06	0,26	0,95
	Folha	3,36	0,35	2,70	3,28	0,33	0,56
	Flôr	4,13	0,80	3,62	1,04	0,34	0,57
56	Raiz	1,75	0,15	1,80	1,83	0,43	0,96
	Caule	1,68	0,11	2,10	1,60	0,24	0,71
	Folha	3,57	0,30	3,82	2,64	0,76	0,74
	Flôr	3,71	0,70	4,87	1,40	0,70	0,89
	Vagem	4,06	0,43	2,90	1,38	0,43	0,65
66	Raiz	1,36	0,05	2,17	1,44	0,59	0,96
	Caule	1,54	0,08	1,92	0,88	0,57	0,82
	Folha	3,01	0,16	2,67	2,58	0,63	0,81
	Vagem	2,76	0,27	1,95	0,52	0,41	0,71
77	Raiz	1,98	0,02	1,70	1,58	0,59	0,96
	Caule	1,67	0,04	1,92	1,34	0,56	0,78
	Folha	2,87	0,15	1,60	2,96	0,66	0,74
	Vagem	3,04	0,29	1,80	0,36	0,36	0,77

TABELA 4.3. — Quantidades de macronutrientes na matéria seca. das plantas em kg/ha.

Dias após o plantio	Partes da planta	Nutrientes em kg/ha					
		N	P	K	Ca	Mg	S
15	Raiz	0,169	0,016	0,160	0,058	0,030	0,040
	Caule	0,411	0,059	0,602	0,222	0,060	0,112
	Folha	1,749	0,187	1,615	0,830	0,227	0,248
	Total	2,329	0,262	2,377	1,100	0,317	0,400
25	Raiz	0,590	0,056	0,494	0,240	0,066	0,137
	Caule	1,210	0,095	1,899	0,801	0,124	0,298
	Folha	7,706	0,466	6,278	5,022	0,992	1,109
	Total	9,506	0,617	8,671	6,063	1,182	1,554
34	Raiz	1,244	0,091	1,286	0,581	0,131	0,397
	Caule	3,320	0,298	5,329	1,869	0,351	1,092
	Folha	20,755	1,777	17,222	15,566	2,197	3,284
	Total	25,319	2,166	23,837	18,016	2,679	4,773
46	Raiz	1,356	0,094	1,769	1,449	0,184	0,706
	Caule	5,228	0,643	9,807	3,442	0,860	3,114
	Folha	30,904	3,256	24,833	30,167	3,044	5,205
	Flôr	2,034	0,395	1,782	0,512	0,170	0,282
	Total	39,522	4,388	38,191	35,570	4,258	9,307
56	Raiz	1,728	0,153	1,777	1,807	0,426	0,948
	Caule	8,631	0,575	10,789	8,220	1,258	3,668
	Folha	53,327	4,601	57,061	39,435	11,487	11,069
	Flor	0,779	0,147	1,023	0,294	0,149	0,187
	Vagem	9,866	1,045	7,047	3,353	1,047	1,579
	Total	74,331	6,521	77,697	53,109	14,367	17,451
66	Raiz	1,040	0,042	1,660	1,101	0,457	0,735
	Caule	5,998	0,327	7,478	3,428	22,247	3,209
	Folha	11,709	0,653	10,386	10,036	2,451	3,151
	Vagem	18,713	1,837	13,221	3,526	2,786	4,841
	Total	37,460	2,859	32,745	18,091	7,941	11,936
77	Raiz	1,589	0,022	1,364	1,268	0,479	0,771
	Caule	6,680	0,176	7,680	5,360	2,252	3,120
	Folha	2,102	0,110	1,172	2,168	0,486	0,543
	Vagem	37,232	3,662	22,045	4,409	4,458	9,528
	Total	47,603	3,970	32,261	13,205	7,676	13,962

Os dados obtidos concordam, em linhas gerais com as de GALLO & MIYASAKA (1961) e HAAG et al. (1967).

4.3. Para fins de adubação é útil o que apresenta a Tabela 4.4. Verifica-se que, quanto à absorção, os macronutrientes se dispõem na seguinte ordem decrescente:

N K Ca S Mg P ;

A exportação, entretanto, obedece à ordem:

N K S P = Ca = Mg;

porcentualmente tem-se em números redondos os seguintes índices de exportação:

N	30%
P	50
K	20
Ca	10
Mg	25
S	40;

esses índices relativamente baixos de exportação combinados com suprimentos médios nos solos brasileiros ajudam a explicar, em parte pelo menos, a ausência de resposta ao uso de alguns elementos e mesmo o efeito depressivo da sua adição, conforme relatado por MALAVOLTA (1971).

TABELA 4.4. — Absorção e exportação de macronutrientes pelo amendoim.

Elemento	kg/ha	
	Absorvido	Exportação
N	102	37
P	9	4
K	93	22
Ca	54	4
Mg	18	4
S	25	10

## 4.2. Ensaio em casa-de-vegetação

### 4.2.1. Sintomas de deficiência

#### 4.2.1.1. Nitrogênio

Observou-se uma clorose nos folíolos, a princípio nas folhas mais velhas. As nervuras de várias ordens, embora hialinas, tornaram-se mais destacadas do fundo. Com o evoluir dos sintomas a clorose se assentou permanecendo, entretanto, numerosas manchas punctiformes, pequeninas, como salpicos verdes. Nessa fase, surgiram áreas esbranquiçadas em várias partes do limbo e que foram aos poucos aumentando em superfície.

Os sintomas obtidos concordam de um modo geral com os descritos em DESAI (1937) e WALLACE (1961, pág. 85).

As alterações mais evidentes que a deficiência de N provocou nas células do mesófilo ocorreram nos cloroplastos e inicialmente se apresentaram como um descoramento da cor verde característica. Com o evoluir dos sintomas, tanto nas células do paliçádico como nas do lacunoso, em lugar dos cloroplastos apareceram numerosos grânulos, de tamanhos vários, com formas diversas, de bastonetes, bacilares, fusiformes, etc., sendo que os menores apresentavam movimento browniano. Todos eles estavam completamente descorados, daí as áreas esbranquiçadas que apareceram no limbo. As mencionadas granulações reagiram com o amido quando tratadas com o reativo de lugol.

#### 4.2.1.2. Fósforo

As plantas vegetando em solução da qual foi omitido o P apresentavam os folíolos novos de coloração verde azulada, sendo que os mais velhos se mostraram de um verde mais claro. Os caules se tornavam mais curtos e mais finos enquanto que as raízes, embora mais finas, aparentemente não diferissem, em volume, das raízes das plantas cultivadas em solução completa. As folhas cotiledonares caíam prematuramente. O desenvolvimento da parte aérea, como um todo, era reduzido.

Os folíolos das folhas mais velhas exibiam sintomas de deficiência em vários graus de intensidade. Estes surgiam a princípio, como áreas internervais cloróticas, algumas das quais com pequenas pontuações marrons principalmente nos bordos da porção terminal do limbo que, nesse estágio, começaram a se enrolar. Na fase aguda da deficiência, os folíolos adquiriram coloração pardacenta com manchas escuras e pontuações generalizadas; o limbo enrolado para cima desprendia-se necrosado.

Os sintomas descritos apresentavam desenvolvimento ascendente.

De um modo geral os sintomas obtidos concordam com os descritos por DESAI (1937) e WALLACE (1961, pág. 85).

A deficiência de P afetava principalmente os cloroplastos mais os do tecido paliçádico que os lacunoso. O exame do mesófilo, na região da clorose internerval mostrava os cloroplastos do paliçádico esmaecidos, de forma irregular, aglutinados em número variável, com forma de rosário arqueado. Outros permaneciam isolados e alguns continuavam com aspecto normal. Em determinados trechos ocorriam aglomerações de cloroplastos à semelhança de cachos de uva.

#### 4.2.1.3. Potássio

As plantas deficientes em K apresentavam crescimento reduzido, os caules eram finos e as raízes em menor quantidade que nas plantas



testemunhas. Os folíolos apresentavam-se reduzidos e os sintomas eram mais evidentes nos mais velhos.

Os sintomas de carência eram mais pronunciados na primeira folha composta após as primordias. Manifestavam-se, a princípio, na extremidade dos folíolos, como manchas de tonalidades de acinzentada, de tamanhos diversos, irregulares, em pleno processo de necrose. Ao exame estereoscópico, verificava-se que a epiderme, na área das manchas, era finamente estriada. As pontas dos folíolos se curvavam na página superior.

Em folhas mais desenvolvidas, além da clorose, surgiram inúmeras pequeninas pontuações, bem próximas entre si, causando a impressão de retículo. Da associação dessas manchinhas formavam-se outras grandes, de cor pardo-escuro, já em fase de necrose. Nestas folhas, também os folíolos estavam com suas pontas viradas para a página superior.

Os sintomas encontrados concordam com os descritos em DESAI (1937), COBRA (1963) e ULRICH e OHKI (1966).

Para o exame das alterações histológicas provocadas pela carência de K, executaram-se cortes transversais no limbo dos folíolos, abrangendo as áreas cloróticas salpicadas de pequeninas manchas marrons. As observações microscópicas revelaram alterações estruturais nos cloroplastos, afetando a cor, a forma, o tamanho e a distribuição no campo celular. Assim, nas imediações das áreas cloróticas, os cloroplastos já se mostravam um tanto esmaecidos, conservando, porém, a forma. Os da área clorótica eram bem amarelecidos, menores e de forma globular. Os tecidos, por sua vez, eram menos consistentes com células deformadas, de membranas contraídas. Nos espaços intercelulares ou nos meatos havia acúmulo de gases e a região se tornava sombreada. Notava-se, ainda, que as pequenas pontuações marrons ou ferrugíneas do limbo resultavam das modificações sofridas pelas células epidérmicas e do parênquima paliçádico, cujo conteúdo adquiria coloração marrom e seus cloroplastos se desorganizavam. As manchas maiores mostravam as mesmas alterações, mais acentuada, porém, a fase final desse processo era a necrose.

#### **4.2.1.4 Cálcio**

As plantas, sob tratamento com omissão de Ca, mostravam pequenas quantidades de raízes e caules mal desenvolvidos.

Apesar de as plantas estarem bem afetadas pela carência de Ca até a data da colheita elas continuavam emitindo nova brotação, sem, contudo, mostrar nas partes novas, sintomas de deficiência.

No que se refere aos sintomas foliares, as folhas inferiores mostravam-se com pequeninas manchas acinzentadas e, posteriormente, eram afetadas de clorose parcial intensa que se iniciava na base dos folíolos e se propagava por entre as nervuras, em graus diversos de penetração, resultando daí formas de contorno irregular para a porção do limbo que se mantinha verde.

Sobre as áreas cloróticas surgiam manchas pardas, irregulares, de vários tamanhos, as quais podem ser consideradas como sintomas secundários. Os folíolos, ao atingirem êsse estágio de deficiência se desprendiam da planta.

Os sintomas encontrados concordam com os descritos em WALLACE (1961, pág. 86) e CHAPMAN (1966, pág. 68), porém discordam no que se refere ao aparecimento da nova brotação.

Procedendo-se ao exame microscópico das estruturas constatou-se que as alterações motivadas pela deficiência de Ca se refletiam, a princípio, nos cloroplastos, afetando-lhes a cor, e a forma e a distribuição na célula e, nos estágios mais avançados, verificou-se o mesmo fato até nos tecidos. Quanto à cor, observa-se uma clorose progressiva até a completa falta de clorofila, donde a presença de manchas cloróticas no limbo.

#### 4.2.1.5. Magnésio

Os sintomas de carência ocorriam, inicialmente, nas folhas da porção inferior das plantas e a seguir, manifestavam-se nas superiores. Caracterizavam-se por uma clorose fraca, generalizada, menos junto às nervuras que permaneciam hialinas, onde o verde se mantinha à guiza de frise. Em consequência dessa disposição, a nervação se destacava do fundo esmaecido do limbo. Com o progredir dos sintomas, surgiam manchas pálidas, quase esbranquiçadas, pela lâmina foliar, de vários tamanhos e de conformação irregular. Em seguida, as manchas começavam a escurecer na região central denotando a presença de necrose, a qual se propagava para a periferia da mancha. Muitas manchas escuras se apresentavam aureoladas de branco. As folhas novas, superiores mostravam indícios de clorose. De um modo geral, a lâmina foliar se apresentava um tanto arqueada.

Os sintomas encontrados não apresentaram a coloração pardo-avermelhadas nas folhas velhas, e, portanto, diferem em parte com os descritos por WALLACE (1961) e CHAPMAN (1966, pág. 228).

Das observações levadas a efeito em grande número de cortes praticados na área dos sintomas, constatou-se que, junto as nervuras, os cloroplastos eram de coloração verde normal e nas áreas afetadas pela carência êles se apresentavam cloróticas porém não tão acentuadamente como no caso da deficiência de Ca, ostentando uma tonalidade

de verde esmaecida. De um modo geral, os cloroplastos se fragmentavam em numerosos grânulos que a princípio se conservavam unidos, e, posteriormente, se separavam, razão porque eram encontradas células cheias de granulações fusiformes com formas de bastonetes, quase brancas. Com o emprêgo do reativo de Lugol pode-se verificar a presença de amido nos cloroplastos mais esmaecidos bem como nos grânulos. No plastos das células estomáticas também se registrou a presença de amido. Os sintomas acima se acentuavam nas imediações das áreas mais alteradas e na região das manchas escuras os tecidos estavam desorganizados.

#### 4.2.1.5. Enxôfre

Os sintomas foliares de carência de S eram mais evidentes nas folhas novas. De um modo geral, as folhas exibiam maior superfície do limbo que os das plantas normais. Os folíolos apresentavam clorose cuja intensidade variava de acôrdo com a época do aparecimento. Surgiram na região periférica dos folíolos, ora como manchas isoladas, de tamanho e contôrno diversos, ora reunidos formando extensas áreas amareladas. Encontravam-se às vezes sôbre algumas dessas áreas cloróticas, diminutas áreas necróticas, revelando a evolução dos sintomas. Em outras folhas a clorose era total e os folíolos se mostravam um tanto transparentes, realçando as nervuras, já um tanto claras, do fundo amarelado.

O exame microscópico dos cortes transversais da lâmina foliar, na área dos sintomas, revelou que as alterações principais, decorrentes da deficiência de S atingiam, principalmente os cloroplastos, tanto do paliçádico como do lacunoso, afetando-lhes o número, a forma e côr. Nas proximidades das nervuras notadamente da principal essas modificações eram menos pronunciadas, por isso que as nervuras se destacavam pela sua coloração esverdeada.

Os cloroplastos alterados estavam reunidos, via de regra, na região central da célula, predominando os tipos fusiformes, vindo com menos freqüência os tipos bastonetes e globulosos. Ocorriam, ainda, pequenas massas esverdeadas e formadas por alguns cloroplastos aglutinados.

Os trechos do mesófilo mais afastados das nervuras, onde, portanto, os sintomas eram mais pronunciados, possuíam cloroplastos profundamente alterados na forma, de tamanhos reduzidos, cloróticos, aglutinados em grande parte e que eram a causa das áreas cloróticas do limbo.

#### 4.2.2. Desenvolvimento das plantas

O efeito dos tratamentos na produção de matéria sêca das diversas partes das plantas aparece na Tabela 4.5.

Considerando-se apenas a produção total de matéria seca verifica-se que nos diversos tratamentos foi obedecida a seguinte ordem decrescente:

Completo — S — K — Mg — Ca — P — N;

tais dados refletem em grande parte a precocidade do aparecimento dos sintomas porquanto as plantas eram colhidas quando os mesmos se manifestavam.

TABELA 4.5. — Produção de matéria seca pelas partes da planta. Média de três repetições de 12 plantas cada uma.

TRATAMENTOS	Partes do vegetal em g				Total
	Raizes	Caules	Fôlhas	Vagens	
Macro + micronutrientes	7,3	8,4	14,5	5,5	35,7
Omissão de nitrogênio	3,0	2,0	3,5		8,5
Omissão de fósforo	3,1	2,1	4,1		9,3
Omissão de potássio	4,5	7,3	10,5	0,36	22,6
Omissão de cálcio	2,1	2,6	6,4		11,1
Omissão de magnésio	3,4	4,8	11,9		20,1
Omissão de enxôfre	5,7	6,4	11,9	6,5	30,5
d.m.s. a 5%	1,68	2,17	4,40		
d.m.s. a 1%	2,14	2,78	5,62		
C.V. %	14,35	15,84	17,41		

### 4 2 3 Concentração dos elementos nas fôlhas

Na Tabela 4.6. estão representados os valores referentes à concentração dos macronutrientes nas fôlhas, bem como as transformações correspondentes em arc sen x.

A concentração de nitrogênio nas fôlhas foi mais baixo no tratamento em que ele foi omitido da solução. Nos tratamentos —Ca, —Mg, —K e —P foram superiores ao Completo ao nível de 5%.

SUZUKI e KENDO (1936) em cana-de-açúcar, COBES e SAMUELS (1955) e HAAG (1958) em cafeeiro e HAAG (1965) em cana-de-açúcar também verificaram que a omissão de potássio eleva o teor de nitrogênio. Segundo EATON (1952), RICHARDS e BERNER (1954) as plantas deficientes em potássio aumentam a quantidade de ácidos aminados livres. Esta explicação encontra apoio nas teorias de RICHARDS e TEMPLEMAN (1936) e WALL (1939).

GILBERT (1951) encontrou que, em geral, as plantas deficientes em enxôfre se caracterizam por teores elevados de nitrogênio. NEAS (1953) observou maior teor de nitrogênio nas plantas de fumo que

não receberam enxôfre. Os dados obtidos não apresentam concordância com os mencionados autores.

TABELA 4.6. — Concentração dos macronutrientes na fôlha.

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg	S
Macro + micronutrientes	2,61 (9,29)	0,36 (3,39)	4,45 (12,18)	4,01 (11,55)	0,86 (5,32)	0,81 (5,16)
Omissão de nitrogênio	1,54 (7,13)	0,81 (5,18)	4,76 (12,60)	1,06 (5,90)	0,84 (5,25)	1,54 (7,11)
Omissão de fósforo	4,24 (11,89)	0,13 (2,09)	5,90 (14,06)	2,77 (9,58)	0,63 (4,56)	0,75 (4,98)
Omissão de potássio	3,64 (10,97)	0,53 (4,18)	0,93 (5,54)	5,09 (13,03)	0,95 (5,60)	0,84 (5,26)
Omissão de cálcio	3,54 (10,85)	0,45 (3,85)	5,46 (13,51)	0,42 (3,70)	1,37 (6,71)	0,79 (5,11)
Omissão de magnésio	3,59 (10,92)	0,50 (4,07)	6,86 (15,19)	2,92 (9,84)	0,48 (3,99)	0,78 (5,07)
Omissão de enxôfre	2,70 (9,46)	0,35 (3,37)	5,46 (13,53)	4,18 (11,78)	0,87 (5,36)	0,70 (4,80)
d.m.s. 5%	0,94	0,79	1,16	1,62	0,88	0,62
C.V. %	3,3	7,5	3,3	6,1	5,9	4,1

O tratamento —P apresentou alto teor de nitrogênio nas fôlhas. Este acúmulo também foi observado por CLEMENTS e outros (1941) em cana-de-açúcar. A deficiência de fósforo em soja elevou a concentração das frações de nitrogênio total solúvel, insolúvel, amídico e amônia, segundo EATON (1949). Este autor sugere que a deficiência de fósforo resultou em proteólise nas fôlhas inferiores e prejudicou a resíntese.

Os tratamentos que afetaram a concentração de fósforo nas fôlhas quando contrastados com o Completo foram o —P e o —N o primeiro diminuindo e o segundo aumentando. Os outros tratamentos não apresentaram diferença estatística em relação ao Completo.

O aumento do teor de fósforo onde se produziu a deficiência de nitrogênio concorda com a observação de CLEMENTS e outros (1941) e HAAG (1965) em cana-de-açúcar. JENNING (1963) citando o experimento de Ketchum comenta que o nitrato pode incrementar a incorporação de fosfatos nos compostos orgânicos, como também, favorecer a síntese do carregador responsável pela absorção de fósforo. Em condições de deficiência de nitrogênio o fosfato não seria fixado nos compostos orgânicos e, daí, possivelmente, a tendência desse nutriente em se translocar para os órgãos mais velhos onde a falta de nitrogênio altera o equilíbrio iônico.

Os contrastes entre os teores de potássio nas folhas revelam que os tratamentos —K, —Ca, —S, —P e —Mg diferiram do completo. Este último não diferiu somente do —N. A Omissão do magnésio, cálcio, enxôfre e fósforo favoreceram o acúmulo de potássio. A absorção de potássio pelas raízes está relacionada à absorção de outros ions. A diminuição na absorção de um cation será compensada pela absorção de outro de modo que o total de bases permanecerá constante (HOAGLAND, 1948).

DIBES e SAMUELS (1957) verificaram que nos tratamentos sem fósforo ou enxôfre o teor de potássio era mais elevado. Observaram ainda uma diminuição da concentração de potássio quando foi omitido o nitrogênio. Os dados obtidos neste experimento de um modo geral, mostram-se concordantes com os observados por aqueles autores.

A concentração de cálcio nas folhas foi menor, em relação ao Completo, nos tratamentos onde se omitiu o cálcio, nitrogênio, fósforo e magnésio da solução nutritiva. Por outro lado, o tratamento completo não diferiu dos tratamentos —S e —K. O tratamento mostra-se quase no limite da diferença mínima significativa de modo a indicar um acúmulo de cálcio relacionado com deficiência de potássio. Isto evidencia novamente a proposição do equilíbrio de bases sugerida por HOAGLAND (1948).

OVERSTREET e outros (1952) afirmam que o potássio e o cálcio são absorvidos por um mecanismo semelhante e que outros cations pelo mesmo ponto do carregador de modo que a falta de um resultou na maior absorção do outro.

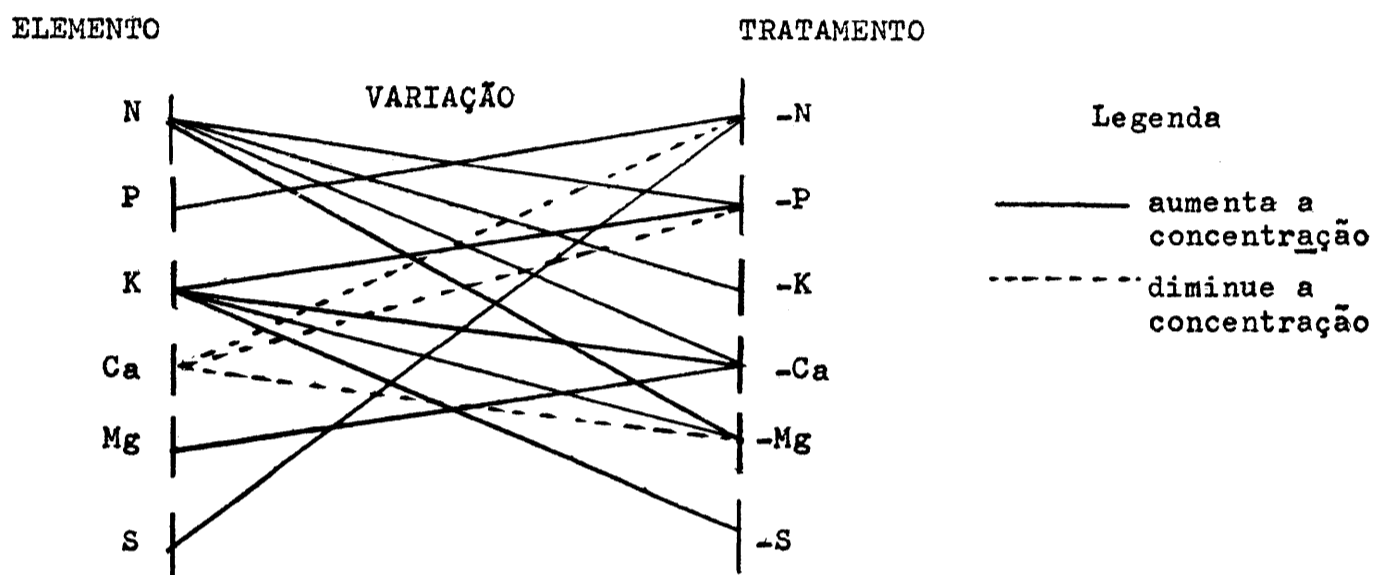
A omissão do nitrogênio ou fósforo ocasionou um efeito depressivo na absorção de cálcio.

A concentração de magnésio nas folhas não apresentou diferença significativa a 5% entre os tratamentos Completo, —P, —N, —S e —K. Entretanto, onde se omitiu o cálcio achou-se um teor significativamente mais elevado que nos demais tratamentos. O acúmulo de magnésio no tratamento —Ca pode ser explicado como devido à falta de cálcio na solução nutritiva.

Excetuando o tratamento —N os restantes não diferiram do tratamento Completo, no que concerne ao teor de S, embora as folhas mostrassem sintomas de deficiência desse nutriente o que pode ser atribuído ao elevado teor acumulado por ocasião do desenvolvimento inicial das plantas em solução completa. Deve-se frisar que as análises químicas se referem ao teor de cada elemento encontrado nas folhas e os sintomas de deficiência se manifestaram nas folhas novas. Estas foram reunidas em cada repetição com as restantes em virtude da quantidade ser insuficiente para análise.

As folhas apresentaram maior número de variações nos teores quando comparados com os das raízes e dos caules.

A figura 4.1 mostra que o nitrogênio elevou-se nos tratamentos —P, —K, —Ca e —Mg. O fósforo revelou este fenômeno somente para o —N. De mesmo modo, o potássio também elevou-se nos tratamentos —P, —S, —Mg e —Ca. Nos tratamentos —P, —N e —Mg, o cálcio revelou diminuir a concentração. No tratamento —N verifica-se que houve um aumento da concentração de enxôfre nas folhas.



## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve o propósito de estudar, preliminarmente, alguns aspectos da nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., var. **roxinho**) no que concerne: a sua exigência mineral dos macronutrientes em condições de campo; o efeito da omissão destes nutrientes, em solução nutritiva, nas alterações morfológicas, alterações anatômicas, produção de matéria verde e seca e a sua composição mineral.

Para verificar as necessidades minerais do feijoeiro foi instalado um ensaio de campo com 2 repetições adubadas, nas quais eram colhidas amostras representativas contendo 100 plantas cada uma de cada repetição, em intervalos de 10 dias a partir do 15.º dia após o plantio. O material obtido, verde e seco, e a análise química permitiram concluir:

1. A maior produção de material verde e seco ocorreu em torno de 56 dias após o plantio, revelando nesse período, uma correlação

positiva (ao nível de 1%) entre a matéria seca e a idade. Este fato foi observado também em relação a raiz, caule e fôlhas.

2. As quantidades de elementos (em kg/ha) retirados pela cultura durante o ciclo vegetativo foram de: 101,6 de N; 92,6 de K; 54,1 de Ca; 25,4 de S; 17,7 de Mg e 9,1 de P.

3. As quantidades exportadas pelas sementes foram de: N—37,2, P—22,0, S—9,5, Ca—4,4, Mg—4,4, e P—3,6kg/ha.

Para verificar os efeitos da omissão dos macronutrientes, plantas de feijoeiro com 15 dias de idade foram transplantadas para solução nutritiva completa e deficiente em condições controladas.

A colheita foi executada quando os sintomas de carência se mostraram evidentes, procedendo-se a descrição morfológica e anatômica das deficiências, e, também, a separação em raízes, caules e fôlhas que forneceram o peso do material verde e seco e o teor de cada macronutriente. Os dados obtidos permitiram as conclusões que seguem:

4. A omissão de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxôfre resultou na apresentação de sintomas morfológicos de deficiências características a cada elemento.

5. As principais alterações anatômicas na fôlha foram as modificações do cloroplasto no tamanho e na forma, devido a omissão do nutriente.

6. A produção de matéria seca foi afetada pelos tratamentos na seguinte ordem decrescente: —S, —K, —Mg, —Ca —P e —N.

7. A análise química revelou que omitindo um nutriente ocorre uma diminuição do teor do mesmo nos órgãos estudados, quando comparado com o tratamento completo.

8. As principais interações entre os elementos nas fôlhas foram as seguintes: o teor de nitrogênio aumentou no tratamento —P, —K, —Ca e —Mg; o fósforo no —N; o potássio nos tratamentos —P, —S, —Mg e —Ca; o enxôfre aumentou no —N; o cálcio diminuiu nos tratamentos —P, —N e —Mg.

## 6. SUMMARY

### STUDIES ON THE MINERAL NUTRITION OF THE BEAN PLANT (PHASEOLUS VULGARIS L., VAR. ROXINHO)

6.1. The uptake of macronutrients by bean plants was studied under field conditions. It was shown that higher production of dry matter was obtained when the crop was 56 days old. Total amounts absorbed were, in kg/ha: N—101, P—9, K—93, Ca—54, Mg—18 and S—25.



6.2. When grown in nutrient solution symptoms of deficiency were observed for all nutrients under study. Anatomical lesions within the leaf tissue were also observed, the chloroplasts being particularly affected. The following leaf levels of elements in the dry leaves characterize conditions of deficiency: N—1.54%, P—0.13%, K—0.93%, Ca—0.42%, Mg—0.48%, S—0.70%.

## LITERATURA CITADA

- COBRA NETTO, A., W. R. ACCORSI, T. COURY, E. MALAVOLTA, E. C. FERRAZ. 1963. Sintomas de deficiências e alterações anatômicas nas folhas e raízes do feijoeiro devidos à falta de potássio. IX Congresso Brasileiro de Ciências do Solo — Fortaleza — Ceará.
- CHAPMAN, H. D. 1966. Calcium. In: Diagnostic criteria for plants soils Ed. H. D. Chapman University of California. Division of Agricultural Sciences.
- CIBES, H. e G. SAMUELS. 1957. Mineral deficiency symptoms displayed by coffee trees under controlled conditions. Agricultural Experiment Station, University of Puerto Rico, Rio Piedras, P. R. Techn. Paper 14.
- CIBES H. e G. SAMUELS. 1957. Mineral deficiency symptoms displayed by deficiency by tobacco grown in the greenhouse under controlled conditions. Agricultural Experiment Station. University of Puerto Rico. Rio Piedras. P. R. Techn. Paper 23.
- JENNINGS, D. H. 1963. The absorption of solutes by plants cells. Ed. Oliver St. Boyd. Edinburgh, Londres.
- EATON, S. U. 1952. Effects of potassium deficiency on growth and metabolism of tomato. *Botany Gazette*, 112:300.
- EATON, S. U. 1949. Effects of phosphorus deficiency on growth and metabolism of sunflower. *The Botanical Gazette* 110:438.
- GALLO, J. R. e S. MIYASAKA. 1961. Composição química do feijoeiro e absorção de elementos nutritivos do florescimento à maturação. *Bragantia* 20:867.
- DESAI, M. C. 1937. Effect of certain nutrient deficiencies on stomatal behavior. *Plant Physiology* 12:253.
- GILBERT, F. A. 1951. The place of sulfur in plant nutrition *Botany Revue* 17(9):671.
- HOAGLAND, D. R. e D. I. ARNON. 1950. The water culture method for growing plants without soil California Agricultural Experiment Station California. Circ. 347.
- HAAG, H. P. et all. 1967. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., var. Chumbinho opaco) (em impressão).
- HAAG, H. P. 1958. Efeitos das deficiências e excessos de macronutrientes no crescimento e na composição do cafeeiro (*Coffea arabica* L., var. *bourbon* (B. Rodr.) Choussi), cultivado em solução nutritiva. Tese mimeografada. E. S. A. "Luiz de Queiroz", U. S. P. Piracicaba, E. São Paulo.
- HAAG, H. P. 1956. Estudos de nutrição mineral da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L. variedade CB 41-76) cultivado em solução nutritiva. Tese mimeografada. E. S. A. "Luiz de Queiroz", U. S. P. Piracicaba — São Paulo.
- HOAGLAND, D. R. 1948. Lectures on the inorganic nutrition of plants 2th ed. Publ. by the chronica Botanica Company. Waltham, Massachussets.

- MALAVOLTA, E. 1971. Nutrição Mineral do feijoeiro I. Simp. Bras. Feijão (Campinas, agosto 1971): 1-39.
- NEAS, I. 1953. Sulphur nutrition in fluecured tobacco. *Agronomy Journal* 45(10):472.
- OVERSTREET, R., L. JACOBSON e R. HANDLEY. 1952. The effect of calcium an the absorpction of potassium by barley *Plant Physiology*, 27:583.
- RANZANI, G. et all. (1966). Carta de solos do Município de Piracicaba. Centro de Estudos dos Solos. E. S. A. "Luiz de Queiroz" Piracicaba.
- RICHARDS, E. J. e E. BERNER. 1954. Physiological studies in plant nutrition. XVII. A general survey of the free aminoacids of barley as effected by mineral nutrition with special reference to potassium supply. *Annals of Botany* 18:15.
- RICHARDS, E. J. e W. G. TEMPLEMAN. 1936. Phy siological studies implant nutrition. IV nitrogen metabolism in relation to nutrient deficiency and age in leaves of barley. *Annals. Botany* 50:367.
- SUZUKI, K. e M. KENJO. 1936. The water culture experiments of sugar cane plant. Part. 2. The potassium deficiency experiments. Rept. Govt. Sug. Exp. Sta. Taiman. Formosa.
- ULRICH, A. e K. OHKI. 1966. Potassium. In. Diagnostic criteria for planta & Soils. Ed. H. D. Chapman University of California. Division of Agricultural Sciences.
- WALL, M. E. 1939. The sole of potassium in plants. I. Effects of varying smounts of potassium on nitrogenis. Carbohychate and mineral metabolism in the tomato plant. *Soil Science*, 47:143.
- WALLACE, T. 1961. The diagnosis of mineral deficiencies in plants. Her Majesty's Stationery Office, London. pag. 85.