

INFLUÊNCIA DO EXCESSO DE ALUMÍNIO NO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) CULTIVADO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA¹

ALAIDES PUPPIN RUSCHEL², ROBERTO ALVAHYDO³ e IVAN BARBOSA
MACHADO SAMPAIO⁴

Sinopse

Demonstra o presente trabalho o papel importante do alumínio na cultura do feijão, em solução nutritiva ácida, pH 3,6 e traz uma contribuição à questão da interrelação fósforo-alumínio.

Foram executados dois experimentos. No primeiro estudaram-se os efeitos do alumínio, comparando-se com possíveis deficiências de fósforo, e no segundo, compararam-se somente diferentes doses de alumínio adicionados à solução nutritiva.

Notou-se que 7 ppm ou mais de alumínio adicionadas à solução nutritiva apresentaram diferença significativa para o teor deste elemento na raiz e na parte aérea do feijão.

Não houve influência do alumínio na percentagem de fósforo da parte aérea da planta; na raiz, entretanto, parece ter havido influência do alumínio da solução no teor percentual de fósforo.

Nos dois experimentos o fósforo total das raízes foi semelhante em todos os tratamentos. As diferenças encontradas para o fósforo total na parte aérea do feijão foram atribuídas ao desenvolvimento da planta, uma vez que os diferentes tratamentos apresentavam teores percentuais de fósforo semelhantes.

Doses iguais ou superiores a 3 ppm de alumínio na solução nutritiva prejudicaram o desenvolvimento da planta.

Os resultados deste trabalho sugerem que os efeitos prejudiciais obtidos são causados pelo excesso de alumínio e não pela deficiência de fósforo na planta.

INTRODUÇÃO

O problema da toxidez de alumínio em solos de baixo pH é bem conhecido e pode causar sérios prejuízos à agricultura. Inúmeros trabalhos têm sido feitos, notadamente com milho, arroz, sorgo, cevada, plantas hortícolas e algumas leguminosas (soja, trevos e ervilhas); no entanto, muito pouco se encontra com relação ao feijão.

Segundo Magistad (1925), a curva de precipitação do alumínio no solo praticamente coincide com a curva em água, de modo que resultados obtidos em solução nutritiva dão uma indicação para o problema em questão. A ação dos fosfatos reduzindo os efeitos desfavoráveis do alumínio em solo de pH baixo foi estudada por Pierre e Stuart (1933) e Wallihan (1948), os quais notaram que os fosfatos monocálcico e monossódico fazem decrescer o alumínio na solução do solo e aumentar o pH.

Em grandes concentrações, o alumínio afeta a planta saturando as células livres do cortex, inibindo o crescimento da raiz (Rorison 1958); no entanto, Wallihan (1948) notou que o alumínio não interfere na atividade metabólica do fósforo presente na parte aérea do trevo.

Segundo Wright e Donahwe (1953), o alumínio precipita o fósforo na raiz, interferindo no metabolismo normal do fósforo na planta.

O presente trabalho, pelo menos em parte, confirma as observações acima citadas e traz uma contribuição para o problema alumínio-fósforo em so-

¹ Recebido para publicação em 21 de novembro de 1967.

Boletim Técnico n.º 64 do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Centro-Sul (IPEACS). Apresentado no XI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Brasília, julho 1967.

² Eng.º Agrônomo e Chefe da Seção de Solos do IPEACS, Km 47, Campo Grande, GB. ZC-26.

³ Eng.º Agrônomo da Seção de Solos do IPEACS, e Professor Catedrático da Escola de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Km 47, Campo Grande, GB. ZC-26.

⁴ Eng.º Agrônomo da Seção de Estatística Experimental do Departamento de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias, Km 47, Campo Grande, GB. ZC-26.

lução nutritiva, com pH 3,6. Nele procurou-se estabelecer as concentrações tóxicas de alumínio para o feijão.

MATERIAL E MÉTODOS

Com o intuito de estabelecer as concentrações tóxicas para o feijão, foram realizados dois experimentos em uma pequena casa de vegetação de madeira. As plantas cresceram em solução, em frascos de vidro com capacidade de 500 ml, pintados com tinta preta para evitar o desenvolvimento de algas. Cada frasco de vidro tinha uma tampa de esponja plástica com dois orifícios para as plantas e um para o tubo de arejamento. A aeração foi de 8 a 10 h diárias. Usou-se a solução de Hoagland modificada. Cada litro continha: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1M 5 ml, KNO_3 1M 5 ml, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1M 2 ml, KH_2PO_4 1M 1 ml, $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,001M 2 ml; micronutrientes 1 ml da solução: MnCl_2 1,81 g, H_3BO_3 2,86 g, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,22 g, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,08 g, H_2MoO_4 0,09 g, água destilada 1 litro. O pH de todos os tratamentos era de 3,6. No primeiro experimento renovou-se a solução de todos os tratamentos de 48 em 48 h, período este ampliado para 72 h no segundo experimento.

Primeiro experimento. Como é de conhecimento geral a adição de fosfato a uma solução contendo alumínio, ou de alumínio a uma solução contendo fosfato, reduz o teor de ambos por precipitação.

Desejava-se estudar os efeitos do alumínio, porém, em face do citado anteriormente, dever-se-ia eliminar aqueles devidos à carência de fosfato. Por esta razão usaram-se os tratamentos expostos no Quadro 1, sendo assim possível estudar os efeitos do alumínio, eliminados os provenientes da deficiência de fósforo, os quais podem ser observados nos tratamentos com a menor quantidade de fosfato sem a presença do alumínio.

QUADRO 1. Teores de fósforo e alumínio nas soluções empregadas nos diversos tratamentos, no primeiro experimento

Trat.	Al adicionado à Sol de Hoagland ppm	Restaram em solução	
		Al ppm	P ppm
T	0	0	32
A	10	9,7	30
B	0	0	30*
C	30	21,0	22
D	0	0	22*
E	60	45,0	18
F	0	0	18*

* Os teores de fósforo dos tratamentos B, D e F não restaram em solução e sim substituíram na solução de Hoagland o teor original, para que correspondessem respectivamente aos teores de fósforo dos tratamentos A, C e E.

Seis dias após a germinação de sementes em areia, transplantou-se o feijão para a solução nutritiva. Colheram-se amostras das raízes para cortes histológicos das plantas com 13 dias e também com 30 dias, quando foi colhido o experimento.

Determinou-se o peso seco da raiz e da parte aérea, além dos teores de alumínio e fósforo de ambas as partes do vegetal.

Os cortes histológicos após inclusão em parafina foram corados segundo a técnica de Heidenhain (Wright & Donahwe 1953), usando-se hematoxilina férrica sem a presença do mordente. A presença do alumínio foi denunciada pela fixação do corante.

Segundo experimento. Pelo Quadro 1 verifica-se que o acréscimo de 10 ppm de alumínio à solução nutritiva não trouxe modificações significativas quer no teor de alumínio, quer no teor de fósforo da mesma, sendo portanto desnecessário o estabelecimento de tratamentos com doses variáveis de fósforo.

Usaram-se os seguintes tratamentos com três repetições: T = solução nutritiva de Hoagland modificada, completa, com pH 3,6; A = idem + 1 ppm de Al; B = idem + 3 ppm de Al; C = idem + 5 ppm de Al; e D = idem + 7 ppm de Al.

As sementes foram postas a germinar em papel de filtro molhado com solução nutritiva diluída, que era borbulhada sob o papel. As plântulas com 72 h foram transplantadas e 24 h após colheram-se raízes para cortes histológicos, o que também foi feito nas plantas com 20 dias de idade. O experimento foi colhido 24 dias depois da semeadura, fazendo-se as mesmas determinações do experimento anterior, isto é, peso seco e teores de alumínio e fósforo da raiz e parte aérea do feijão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos podem ser examinados em dois quadros anexos. No Quadro 2, quando se observa a percentagem de alumínio da raiz, nota-se que a menor quantidade de alumínio adicionada à solução nutritiva (10 ppm) foi suficiente para diferenciar estatisticamente dos demais, os tratamentos com alumínio. Além disso, houve também diferenças estatísticas entre diversos tratamentos com alumínio e aqueles que eram seus correspondentes com a mesma quantidade de fósforo, interação (Al x P), o que evidencia a influência do excesso de alumínio e não da deficiência de fósforo; o tratamento com a menor dose de alumínio em solução foi o que apresentou a maior quantidade de alumínio na parte aérea do feijão, demonstrando que as maiores doses (30 e 60 ppm) foram por demais elevadas, parecendo ter afetado de modo negativo a fisiologia da planta, pois o excesso de

alumínio na raiz, talvez tenha impedido a subida deste ion à parte aérea.

Na raiz, a percentagem de fósforo foi visivelmente maior nos tratamentos que sofreram adição de alumínio na solução nutritiva; a análise estatística, entretanto, não revelou diferença significativa em virtude do alto coeficiente de variação na amostra; na parte aérea, a diferença significativa encontrada vem demonstrar que somente o tratamento com a menor dose de fósforo na solução apresentou deficiência deste elemento na planta, sendo os demais iguais. Conclui-se preliminarmente que o fósforo não foi bloqueado na raiz.

Cortes histológicos das raízes submetidas aos tratamentos com alumínio mostraram as paredes externas danificadas, e células vacuolizadas. Notaram-se diferenças nítidas entre os cortes dos tratamentos com alumínio, e aqueles sem alumínio com diferentes doses de fósforo, e testemunha. Nestes últimos observaram-se cortes com células normais, descoloridos. A presença do alumínio pode ser perfeitamente verificada, pois os cortes tomaram uma coloração arroxeada e escura, observação esta que confirma os resultados de Wright (1943). Notaram-se os primeiros sintomas de toxidez, isto é, curvatura da parte apical da raiz, em todos os tratamentos com alumínio 48 horas após o transplante para a solução nutritiva. Posteriormente notou-se um definhamento da parte aérea das plantas submetidas àqueles tratamentos.

Observando-se os dados de fósforo total, nota-se que não houve diferenças significativas dentro do sistema radicular do feijão para os diferentes tratamentos; entretanto, a parte aérea das plantas dos tratamentos que tinham alumínio em solução, apresentaram uma redução de fósforo total devida à diminuição do peso seco, uma vez que tínhamos sempre a mesma percentagem.

O fósforo total da parte aérea de todos os tratamentos correspondentes (Al x P) apresentaram significância estatística, em relação aos tratamentos com fósforo, sem a presença do alumínio.

O peso seco das raízes nos tratamentos com alumínio na solução foram inferiores àqueles com fósforo somente. Comparando-os com seus correspondentes com a mesma quantidade de fósforo na solução notou-se que houve diferença estatisticamente significativa. Segundo Rorison (1958), os fosfatos são importantes para a divisão e crescimento longitudinal das células da raiz, o que deve ser considerado quando na presença do alumínio. De acordo com Possigham e Brown (1957), o alumínio por si só inibe a divisão da célula por antagonismo do ferro ativo, retirando do núcleo o ferro necessário para a divisão

celular. O alumínio propicia a formação de excesso de pectinas nas paredes das células novas, fazendo com que percam a sua plasticidade. O pequeno grau de esterificação pode provocar a precipitação da pectina pela formação de pontes entre os grupos carboxílicos e cadeias ácidas de pectina (Joshyn & Luca 1957). Nos tratamentos com 60 ppm de Al na solução nutritiva notou-se em volta das raízes uma gosma que, levada ao microscópio, demonstrou não ser de origem bacteriana, levando-nos a crer que possivelmente fosse devida a formação destas pectinas.

Com relação à parte aérea, notamos que todas as doses de alumínio adicionadas à solução nutritiva prejudicaram o desenvolvimento da planta (peso seco).

Levando-se em conta o tratamento de maior peso seco a menor dose de fósforo também prejudicou o crescimento do feijão. Alguns autores sugerem que a precipitação do fósforo pelo alumínio do solo é a causa do pouco desenvolvimento das plantas (Pierre & Stuart 1933); Wright (1943) nos indica que a precipitação interna de fósforo na planta é a causa desses efeitos prejudiciais, e Wallihan (1948) sugere ser esta precipitação efetuada na raiz. Observando-se os dados do presente experimento verifica-se que os efeitos prejudiciais se fazem sentir em virtude de excesso de alumínio e não por precipitação de fósforo na raiz, pois os tratamentos que tinham as doses de fósforo correspondentes às que permaneceram em solução nos tratamentos com alumínio, apresentaram na parte aérea teores semelhantes de fósforo.

No Quadro 3 estão apresentados os dados do segundo experimento.

A maior dose de alumínio adicionada à solução nutritiva (7 ppm) apresentou maior teor de alumínio na raiz e parte aérea do feijão, diferença esta que foi significativa.

A percentagem de fósforo nas raízes das plantas dos tratamentos com 3 e 7 ppm na solução nutritiva foi maior que no tratamento testemunha. Podem-se explicar as diferenças encontradas quando comparados os teores de fósforo nos dois experimentos pelo fato de, no primeiro, ter-se colhido plantas com 30 dias e no segundo com 20 dias de idade. De acordo com Rorison (1958), os problemas agudos da toxidez de alumínio ocorrem nos primeiros estágios de desenvolvimento da planta, após os quais, se os danos não forem muito acentuados, pode a planta se recuperar. Ora, é possível que no primeiro experimento, numa fase mais adiantada do ciclo do vegetal não mais tenha ocorrido o acúmulo de fósforo na raiz.

O aumento do teor de alumínio na solução causa o maior acúmulo de fósforo na raiz; entretanto, os teores

de fósforo da parte aérea não se modificam. Isto nos leva a crer que não é por falta de fósforo que as plantas podem vir a sofrer e sim pela presença do alumínio. Quanto à forma sob a qual se acumula o fósforo na raiz nada se pode adiantar com base nestes experimentos.

Verifica-se que o fósforo total da raiz foi semelhante em todos os tratamentos, e o fósforo total da parte aérea nos tratamentos com 5 e 7 ppm de alumínio foi diferente estatisticamente dos demais, o que deve ser atribuído à diferença de peso seco da planta, uma vez que a percentagem de fósforo na parte aérea foi semelhante em todos os tratamentos.

cesso de alumínio e não pela deficiência de fósforo na planta.

Neste segundo experimento a coloração escura nos cortes histológicos somente apareceu nos tratamentos com 5 e 7 ppm de alumínio na solução nutritiva. Notou-se maior número de células vacuolizadas à medida que o alumínio aumentava na solução.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados podemos concluir:

- 1) o alumínio foi encontrado em maior percentagem na raiz do feijão a partir de 7 ppm adicionadas à solução nutritiva;

QUADRO 2. Primeiro experimento: feijão cultivado em solução nutritiva, com doses diferentes de Al e P (Médias de três repetições)

Trat.	Solução Nutritiva			% Al		% P		P total		Planta peso seco (g)	
	Al adic. ppm	Restaram em sol. (ppm)		Raiz	Parte aérea	Raiz	Parte aérea	Raiz	Parte aérea	Raiz	Parte aérea
		Al	P								
T	0	0	32	0,23	0,09	1,07	0,59	4,25	9,03	0,40	1,53
A	10	9,7	31	1,45	0,18	1,43	0,60	5,78	6,53	0,27	1,08
B	0	0	31	0,22	0,10	0,83	0,53	4,58	9,84	0,42	1,83
C	30	21	22	1,34	0,10	1,71	0,56	4,55	4,40	0,27	0,77
D	0	0	22	0,12	0,11	1,01	0,60	3,93	9,14	0,38	1,52
E	60	45	18	1,60	0,14	1,38	0,60	2,94	2,39	0,22	0,40
F	0	0	18	0,08	0,12	0,01	0,46	2,99	5,94	0,30	1,30
d. m. s.				0,33	0,01	—	0,08	—	2,26	0,13	0,43

QUADRO 3. Segundo experimento: feijão cultivado em solução nutritiva, com diferentes doses de Al (Médias de três repetições)

Al na Solução (ppm)	% Al		% P		P total		Peso seco plant. (g)	
	Raiz	Parte aérea	Raiz	Parte aérea	Raiz	Parte aérea	Raiz	Parte aérea
0	0,13	0,06	0,86	0,66	1,56	8,22	0,18	1,23
1	0,30	0,04	1,29	0,59	2,58	8,31	0,20	1,40
3	0,68	0,02	1,52	0,65	2,04	6,87	0,13	0,98
5	0,67	0,03	1,39	0,69	1,33	5,26	0,10	0,75
7	0,95	0,09	1,68	0,68	1,63	4,68	0,12	0,68
d. m. s.	0,18	0,03	0,25	—	—	2,65	0,06	0,35

As duas últimas doses de alumínio na solução nutritiva (5 e 7 ppm) diminuíram o peso seco das raízes; no entanto, 3 ppm de alumínio já foram suficientes para prejudicar o desenvolvimento da parte aérea do feijão.

Pelo exposto acima, nota-se que os efeitos prejudiciais obtidos são causados pela presença de ex-

2) na parte aérea somente houve diferenças significativas na percentagem de alumínio com 7 ppm ou mais de alumínio na solução nutritiva;

3) no primeiro experimento não houve diferença estatística para a percentagem de fósforo na raiz; já no segundo, notou-se que a partir de 3 ppm de

alumínio adicionadas à solução nutritiva, as raízes das plantas apresentavam maior percentagem de fósforo. As diferenças encontradas entre os dois experimentos podem sugerir que o fósforo da raiz diminui à medida que a planta cresce, pois os dois experimentos foram colhidos em idades diferentes;

4) em ambos os experimentos não houve diferença estatisticamente significativa para a percentagem de fósforo na parte aérea do feijão, quando cultivado na presença do excesso de alumínio;

5) não houve diferenças significativas no fósforo total das raízes das plantas de ambos os experimentos;

6) as diferenças encontradas para fósforo total da parte aérea do feijão são atribuídas ao desenvolvimento da planta, uma vez que todos os tratamentos apresentavam a mesma percentagem;

7) os resultados indicam que 3 ppm de alumínio adicionadas à solução nutritiva prejudicam o desenvolvimento do feijão (pêso seco);

8) os resultados deste trabalho sugerem que os efeitos prejudiciais obtidos são causados pela presença

de excesso de alumínio e não pela deficiência de fósforo na planta.

REFERÊNCIAS

- Joshyn, M. A. & Luca, G. de 1957. *J. Colloid Sci.* 12: 108-130. (Citado por Rorison 1958)
- Magistad, O. C. 1925. The aluminum content of the soil solution and its reaction on the plant growth. *Soil. Sci.* 20: 181-213.
- Pierre, W. H. & Stuart, A. D. 1933. Soluble aluminum studies. IV. The effects of phosphorus in reducing the detrimental effects of soil acidity on plant growth. *Soil Sci.* 36: 211-226.
- Possighan, J. V. & Brown, R. 1957. *Nature, Lond.*, 180: 654. (Citado por Rorison 1958)
- Rorison, I. H. 1958. The effect of aluminum on legume nutrition, p. 43-61. In Hallsworth, E. C. (ed.). *Nutrition of the legumes.* Academic Press, London.
- Wallihan, E. F. 1948. The influence of aluminum on the phosphorus nutrition of plants. *Am. J. Bot.* 35: 106-112.
- Wright, K. E. 1943. Internal precipitation of phosphorus in relation to aluminum toxicity. *Plant Physiol.* 18: 708-712.
- Wright, K. E. & Donahue, B. A. 1953. Aluminum toxicity studies with radioactive phosphorus. *Plant Physiol.* 28: 674-680.

INFLUENCE OF ALUMINUM ON GROWTH OF BEANS (*Phaseolus vulgaris* L.) IN NUTRIENT CULTURE

Abstract

In the present paper the importance of aluminum for bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth in nutrient solution, at pH 3.6, is shown and some contribution to elucidate the question of aluminum-phosphorus interactions is made.

Two experiments were carried out, the first to study aluminum toxicity in relation to a possible phosphorus deficiency and the second to establish toxic levels.

The following results were observed:

- 1) solutions containing more than 7 ppm of aluminum caused a significant increase of aluminum both in the roots and in the aerial portion of the beans;
- 2) concentration of aluminum in the nutrient solution had no effect on phosphorus content of the aerial portion of the plant but appears to have had an effect on the phosphorus content of the roots;
- 3) concentrations of 3 ppm or greater of aluminum in the nutrient solution were prejudicial to plant growth. The results of this work suggest that these prejudicial effects are caused by excess of aluminum itself and not by aluminum-induced deficiencies of phosphorus in the plant.