

EFEITOS DO ALUMÍNIO E DO MANGANÊS NO FEIJOEIRO¹

ITAMAR PEREIRA DE OLIVEIRA² e EURÍPEDES MALAVOLTA³

RESUMO - Trinta e oito cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) foram submetidas a tratamentos de 0, 6, 12, 18 e 24 ppm de alumínio e 0, 30, 60, 90 e 120 ppm de manganês, em solução nutritiva em combinação fatorial. Análises de regressão do peso da matéria seca da planta inteira permitiram separar as cultivares em três grupos em relação ao alumínio: a. Tolerantes - cultivares que apresentam máximos de produção de matéria seca na presença de 14 a 16 ppm de alumínio: Jalo, Mulatinho Paulista, Ricobaio 1014, Roxo 760. b. Medianamente sensíveis - cultivares que apresentaram mínimos de produção em solução com 14 a 15 ppm de alumínio: Jamapa e Porrillo Sintético. c. Sensíveis - cultivares que apresentaram mínimos de produção entre 2 a 9 ppm de alumínio: Carioca, Costa Rica, Costa Rica 1031, Cuva 168 N, Goiano Precoce, Rico Pardo, Rio Tibagi e Tambó. Análises de regressão deste mesmo parâmetro permitiram separar as cultivares em dois grupos em relação ao manganês: a. Medianamente sensíveis - cultivares que apresentaram mínimos de produção entre 102 a 118 ppm de manganês: Carioca, CR 911, Cuva 168N, Rico Pardo e Rio Tibagi. b. Sensíveis - cultivares que apresentaram mínimos de produção em solução na presença de 72 a 99 ppm de manganês: Costa Rica 1031, Goiano Precoce, Jamapa, Porrillo Sintético e Rosinha. Algumas cultivares não puderam ser classificadas nos grupos tolerantes e sensíveis, porque as raízes das respectivas equações de regressão apresentaram valores fora do campo experimental ($0 > Al > 24$ e $0 > Mn > 120$). Por esse motivo, não foi possível concluir seguramente sobre os dados obtidos.

Termos para indexação: toxidez de alumínio, toxidez de manganês, máximo e mínimo de produção, análises de regressão, *Phaseolus vulgaris* (L.).

ALUMINIUM AND MANGANESE EFFECTS ON BEANS

ABSTRACT - Thirty eight bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars were grown in nutrient solution under a factorial treatment using 4 levels of Al (0, 6, 12, 18 and 24 ppm) and 4 levels of Mn (0, 30, 60, 90 and 120 ppm) to study their behavior in presence of Al and Mn. By applying regression analysis to dry matter yield data it was possible to classify said varieties to Al effect in a. Tolerant - cultivars whose maximum yield appeared in the presence of the element at 14-16 ppm: Jalo, Mulatinho Paulista, Ricobaio 1014 and Roxo 760; b. Moderately sensitive - cultivars whose minimum yield occurred in solutions having between 14 and 15 ppm of Al: Jamapa and Porrillo Sintético; c. Sensitive - cultivars whose yield showed a minimum when the nutrient solution had between 2 and 9 ppm of Al: Carioca, Costa Rica, Costa Rica 1031, Cuva 168 N, Goiano Precoce, Rico Pardo, Rio Tibagi and Tambó. Mn toxicity regression analysis allowed the following classification: a. Moderately sensitive - cultivars showing minimum yield when the nutrient solution contained from 102 to 118 ppm of Mn: Carioca, CR 911, Cuva 168 N, Rico Pardo and Rio Tibagi; b. Sensitive - cultivars showing minimum yield when the nutrient solution presented from 72 to 99 ppm of Mn: Costa Rica 1031, Goiano Precoce, Jamapa, Porrillo Sintético and Rosinha. The remaining cultivars could not be classified because the estimated values of Al or Mn levels which would allow for maximum of minimum growth fell outside the experimental concentration ($0 > Al > 24$ and $0 > Mn > 120$). For this reason it was not possible to draw safe conclusions on the data obtained.

Index terms: aluminium toxicity, manganese toxicity, maximum and minimum yield, regression analysis, *Phaseolus vulgaris*.

INTRODUÇÃO

O alumínio, como a exemplo de outros cátions de altas valências, geralmente reduz a permeabili-

dade do protoplasma e dificulta a entrada do fósforo na raiz da planta. Reduz também a atividade metabólica do fósforo no tecido, a partir da raiz, segundo Whallihan (1948). A concentração de alumínio da parte aérea, muitas vezes, é reduzida, devido às cargas do protoplasma, responsáveis pela aderência destes cátions. O excedente do alumínio do meio não é absorvido, mas acumulado na superfície da raiz; pode combinar com o fósforo das soluções, precipitando-o. Trabalhos de Magistad (1925) e Wright (1943) mostram que a precipitação ocorre primariamente na raiz e causa, então, uma deficiência de fósforo na região meristemáti-

¹ Aceito para publicação em 23 de novembro de 1981. Trabalho extraído de parte da tese para obtenção do Título de Doutor em Solos e Nutrição de Plantas na ESALQ/USP - Piracicaba.

² Eng.º Agr.º, M.Sc., Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP) - EMBRAPA, BR 153 - km 04, Caixa Postal 179, CEP 74000 - Goiânia, GO.

³ Eng.º Agr.º, Ph.D., Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz" - ESALQ/USP, Caixa Postal 96, CEP 13400 - Piracicaba, SP.

ca, a qual é refletida em decréscimo de produção.

As plantas, segundo Howeler & Cadavid (1976), podem sofrer de toxidez causada pelo alumínio, quando a concentração na solução do solo está acima de 1 ppm, e os sintomas aparecem nas folhas, em concentrações acima de 25 ppm, nas soluções nutritivas. Todavia, as primeiras evidências de injúrias nas plantas ocorrem na raiz, tornando-as descoloradas e atrofiando suas ramificações. O desenvolvimento é prejudicado e todo o sistema radicular sofre redução. A sintomatologia vai-se agravando; há visível redução do desenvolvimento de ápice que pode levar a planta ao definhamento e à morte.

Revisões de Malavolta (1976) relatam que o alumínio reage com as cadeias do ácido poligalacturâmico das paredes das células jovens, dando compostos pécticos "errados" do que resulta a perda de elasticidade e diminuição na alongação. Interfere também em reações de transferência de grupos fosforilados, na ação da hexoquinase, na formação de esteres de carboidratos e na de ácidos nucléicos.

O manganês, ao contrário do alumínio, é um elemento essencial às plantas. Absorvido pelas raízes, na forma bivalente, é encontrado nos pontos fisiologicamente ativos. Não se transloca apreciavelmente para os órgãos mais novos quando ocorre deficiência. As plantas podem absorvê-lo através de suas folhas, o que permite o uso de sais de manganês em pulverizações, para corrigir deficiências (Malavolta 1976).

Malavolta (1967) relata, citando Nicholas (1957), que o manganês é ativador de enzimas oxidantes, arginase, muitas descarboxilases, desidrogenase isocítrica e enzima málica. A reductase da hidroxilamina, enzima que toma parte do sistema responsável pela redução do nitrato amoniacal, depende do manganês para a sua atividade. Embora não seja bastante elucidado (Mengel & Kirkby 1978), há dúvidas quanto à função do manganês na atividade da reductase da hidroxilamina. Tem-se observado que o nitrato reductase é a única proteína responsável pela transferência direta de elétrons do nitrato para amônia, em contraste com a idéia original de que esta redução teria como intermediários o hiponitrito e a hidroxilamina.

Klamt (1969) considera que solos com níveis

de manganês acima de 20 ppm são tóxicos para a maioria das culturas, enquanto que níveis inferiores a 2,5 ppm podem ser insuficientes para algumas plantas.

Possibilidade de seleção de cultivares tolerantes ao alumínio foi relatada por Magistad (1925), com várias espécies de plantas; Hanson & Kamprath (1979), com soja; Mugwira et al. (1978) e Foy et al. (1974), com trigo e feijão; Polle et al. (1978), com milho e Nogueira (1979), com sorgo sacarino. Seleção de cultivares tolerantes ao manganês é relatada por Malavolta (1976); Munns et al. (1963a, b, c), com aveia; Ohki (1977), com algodão, soja e sorgo; Souto & Döbereiner (1969), com várias espécies de leguminosas.

Este trabalho tem a finalidade de selecionar cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao alumínio e manganês, bem como agrupá-las de acordo com o nível de tolerância de cada cultivar.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram testadas 38 cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em cinco níveis de alumínio (0, 6, 12, 18 e 24 ppm) como $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ e cinco níveis de manganês (0, 30, 60, 90 e 120 ppm) como $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, em combinação fatorial, conforme a relação: C₁ - Aroana, C₂ - Bico de Ouro Claro Brilhante, C₃ - Bico de Ouro Escuro, C₄ - Bico de Ouro Fosco, C₅ - Carioca, C₆ - Chumbinho Opaco, C₇ - Cornell 49.242, C₈ - Costa Rica, C₉ - Costa Rica 1031, C₁₀ - CR 911, C₁₁ - Cubano, C₁₂ - Cuva 168 N, C₁₃ - Goiano Precoce, C₁₄ - Guatemala 162, C₁₅ - Iguaçu, C₁₆ - Jalo, C₁₇ - Jamapa, C₁₈ - Maquiné, C₁₉ - Moruna, C₂₀ - Mulatinho Paulista, C₂₁ - Pai d'Égua, C₂₂ - Porillo Sintético, C₂₃ - P 686 F 78, C₂₄ - P 704 F 78, C₂₅ - Rico 23, C₂₆ - Ricobaió 1014, C₂₇ - Rico Pardo, C₂₈ - Rio Tibagi, C₂₉ - Rosinha, C₃₀ - Roxinho, C₃₁ - Roxo 735 F 78, C₃₂ - Roxo 748 F 78, C₃₃ - Roxo 760 F 78, C₃₄ - Tambó, C₃₅ - Tayhu, C₃₆ - TMD₁ 807 F 78, C₃₇ - Turrialba e C₃₈ - Venezuela 350.

As sementes foram germinadas em vermiculita umedecida com $CaSO_4 \cdot 10^{-4}$ M. As plântulas permaneceram neste meio até o quinto dia após a emergência, quando, então, foram colocadas em solução nutritiva n.º 2 de Hoagland & Arnon (1950), modificada (concentração de fosfato biácido de potássico reduzida a 0,5 M na concentração da solução mãe). Os micronutrientes foram fornecidos, utilizando-se a "Solução a", tendo como fonte de ferro o Fe-EDTA, de acordo com Malavolta (1976). O manganês não foi colocado na solução original, sendo adicionado apenas nos tratamentos utilizados na seleção de cultivares.

As plantas permaneceram em solução nutritiva em pH controlado em torno de 5,0 com arejamento permanente, em tanques de plástico com capacidade de 30 litros, ten-

do, nos bordos superiores, as dimensões de 70 cm x 46,50 cm e 20 cm de profundidade.

As plantas foram colhidas após quatro semanas, as raízes foram destacadas da parte aérea, lavadas em água de torneira e água destilada; sofreram pré-secamento ao natural e ambas as partes foram condicionadas em sacos de papel perfurados. Completou-se o secamento, em estufa à temperatura 70-80°C, por um período de doze horas.

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo os tratamentos de alumínio e manganês dispostos em combinação fatorial. Foi considerada uma planta por repetição.

Para avaliar os efeitos dos tratamentos sobre as culturas, foram determinados a altura da planta, o comprimento da raiz, o peso da matéria seca da parte aérea, o peso da matéria seca da raiz e peso da matéria seca total.

Os dados de produção da matéria seca total (Y) foram submetidos à análise de variância e análise de regressão. Procurou-se adaptar os dados por cultivar em equações do modelo:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + B_{11} x_1^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{22} x_2^2, \text{ onde:}$$

b_0 = termo constante da equação de regressão.

$b_1, b_2, b_{11}, b_{12}, b_{22}$ = coeficientes de regressão parcial.

x_1 e x_2 = níveis dos fatores (Al e Mn).

Substituindo os valores de x_1 por alumínio e manganês obtém-se:

$$Y = b_0 + b_1 Al + b_2 Mn + b_3 Al^2 + b_4 AlMn + b_5 Mn^2$$

A precisão no ajustamento dos dados foi verificada através do nível de significância dos coeficientes de determinação (R^2). Como base para a classificação das cultivares foram usados os valores máximos e mínimos obtidos das matrizes, discutidas por Myers (1971).

a. Primeiro caso

$$\Delta B > 0; b_{11} > 0 \text{ e/ou } b_{22} > 0.$$

O ponto obtido da matriz equivale ao ponto da curva onde a produção é mínima.

b. Segundo caso

$$\Delta B < 0; b_{11} < 0 \text{ e/ou } b_{22} < 0$$

O ponto obtido da matriz equivale ao ponto da curva onde a produção é máxima.

c. Terceiro caso

$$\Delta B < 0 \text{ e } b_{ij} > 0 \text{ ou}$$

$$\Delta B > 0 \text{ e } b_{ij} < 0$$

Consideram-se, neste caso, como indeterminados os pontos de máximos e/ou mínimos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de matéria seca, representada pelo peso total (Tabelas 1 e 2) de cada cultivar testada isoladamente, foi submetida à análise de regressão. Os resultados encontram-se na Tabela 3 e permitem classificar as cultivares em relação aos níveis de tolerância ao alumínio e ao manganês.

Os resultados obtidos mostraram um comportamento diferencial entre as cultivares; algumas tive-

TABELA 1. Peso da matéria seca total das cultivares de feijão submetidas a diferentes níveis de alumínio, em solução nutritiva, fixando os níveis de manganês.

	Tolerantes				Sensíveis			
	C ₁₆	C ₂₀	C ₂₆	C ₃₃	C ₁₇	C ₂₈	C ₃₄	
Al ₀	0,659 c	0,432 d	0,582 d	0,479 d	0,743 a	0,696 a	0,393 a	
Mn ₁	0,762 a	0,604 a	0,677 c	0,618 b	0,615 b	0,638 b	0,318 b	
Al ₆	0,791 a	0,560 b	0,711 b	0,618 b	0,618 b	0,539 c	0,251 c	
Al ₁₂	0,891 a	0,532 c	0,762 a	0,712 a	0,615 b	0,643 b	0,341 ab	
Al ₁₈	0,714 b	0,524 c	0,579 d	0,529 c	0,630 b	0,676 a	0,408 a	
Al ₂₄								
C.V. %	4,510	4,850	4,200	4,570	4,410	3,960	14,860	
DMS ₂₀	0,036	0,027	0,029	0,029	0,030	0,027	0,054	

TABELA 2. Peso da matéria seca total das cultivares de feijão submetidas a diferentes níveis de manganês, em solução nutritiva, fixando os níveis de alumínio.

		C ₁₃	C ₂₂	C ₂₈
Matéria seca total (g)				
Al ₁	Mn ₀	0,661 a	0,627 a	0,829 a
	Mn ₃₀	0,594 b	0,401 c	0,650 b
	Mn ₆₀	0,495 c	0,354 d	0,613 b
	Mn ₉₀	0,536 c	0,339 d	0,570 c
	Mn ₁₂₀	0,509 d	0,453 b	0,529 d
C.V.	%	3,510	5,730	3,960
DMS	1%	0,021	0,026	0,027

TABELA 3. Valores máximos e mínimos em relação aos tratamentos de alumínio e manganês obtidos pelas resoluções das equações de regressão; e os parâmetros destas equações empregados nas matrizes para obtenção e interpretação dos valores máximos e mínimos.

Cultivares	Alumínio		Manganês		Valores de b	Valores de x		
	máximo	mínimo	máximo	mínimo				
C ₁	-	-	-	-	$\Delta B = 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₂	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₃	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} = 0$	-
C ₄	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} = 0$	-
C ₅	-	6	-	109	$\Delta B > 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₆	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₇	-	-	-	-	$\Delta B = 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₈	-	4	-	-	$\Delta B > 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} > 0$	$x_2 > 2$
C ₉	-	5	-	83	$\Delta B > 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₁₀	-	-	-	105	$\Delta B > 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} > 0$	$x_1 < -2$
C ₁₁	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₁₂	-	7	-	102	$\Delta B > 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₁₃	-	8	-	95	$\Delta B > 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₁₄	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} = 0$	-
C ₁₅	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₁₆	16	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} < 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₁₇	-	15	-	90	$\Delta B > 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₁₈	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₁₉	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₂₀	14	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} < 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₂₁	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} = 0$	-
C ₂₂	-	14	-	72	$\Delta B > 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₂₃	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₂₄	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₂₅	-	-	-	-	$\Delta B > 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} > 0$	$x_1 < -2, x_2 > 2$
C ₂₆	14	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} < 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₂₇	-	7	-	112	$\Delta B > 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₂₈	-	9	-	118	$\Delta B > 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₂₉	-	-	-	99	$\Delta B > 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} > 0$	$x_1 < -2$
C ₃₀	-	-	-	-	$\Delta B > 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} > 0$	$x_2 < -2$
C ₃₁	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₃₂	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₃₃	15	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} < 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₃₄	-	2	-	-	$\Delta B > 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} > 0$	$x_2 > 2$
C ₃₅	-	-	-	-	$\Delta B > 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} > 0$	$x_1 < -2, x_2 > 2$
C ₃₆	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} > 0$	-
C ₃₇	-	-	-	-	$\Delta B > 0$	$b_{11} > 0$	$b_{22} > 0$	$x_1 < -2, x_2 > 2$
C ₃₈	-	-	-	-	$\Delta B < 0$	$b_{11} = 0$	$b_{22} > 0$	-

ram sua produção de matéria seca aumentada, até certo ponto, em presença do alumínio, enquanto que outras foram prejudicadas por esse elemento. Os resultados obtidos concordaram com McLean & Gilbert (1927). Foi possível, de acordo com esses autores agrupar, as cultivares em faixa de tolerância dentro dos níveis testados.

a. Tolerantes - as cultivares apresentaram máximos de produção da matéria seca na presença de 14 a 16 ppm de alumínio:

C₁₆ - Jalo (16 ppm), C₂₀ - Mulatinho Paulista (14 ppm), C₂₆ - Ricobaio 1014 (14 ppm) e C₃₃ - Roxo 750 (15 ppm).

b. Medianamente sensíveis - as cultivares que apresentaram mínimos de produção de 14 a 15 ppm de alumínio:

C₁₇ - Jamapa (15 ppm) e C₂₂ - Porillo Sintético (14 ppm).

c. Sensíveis - cultivares que apresentaram mínimos de produção de 2 a 9 ppm de alumínio:

C₅ - Carioca (6 ppm), C₈ - Costa Rica (4 ppm), C₉ - Costa Rica 1031 (5 ppm), C₁₂ - Cuva 168 N (7 ppm), C₁₃ - Goiano Precoce (8 ppm), C₂₇ - Rico Pardo (7 ppm), C₂₈ - Rio Tibagi e C₃₄ - Tambó (2 ppm).

Os parâmetros de crescimento utilizados para a avaliação dos resultados foram: altura da planta, comprimento da raiz, peso da matéria seca da parte aérea, peso da matéria seca da raiz e peso da matéria seca total. Esses parâmetros podem ser utilizados para avaliar o comportamento de plantas em relação ao alumínio, como podem ser revistos em trabalhos de Foy et al. (1972), na observação do desenvolvimento de plântulas contendo alumínio; de Foy et al. (1969), em estudo do efeito do alumínio no colapso de pecíolos e de Howeler & Cadavid (1976), na observação do crescimento relativo percentual na presença e ausência do alumínio.

Algumas cultivares aumentaram a produção de matéria seca em solução contendo alumínio. Magistad (1925) relata que pequenas quantidades de alumínio são benéficas às plantas, devido a um efeito catalítico desse elemento no processo da fotossíntese. A diferença no comportamento das cultivares pode ser atribuída ao grau de permeabilidade da membrana celular, que permite o alumínio penetrar na célula. O alumínio provoca coagu-

lação de proteínas e cria diferentes condições para os cátions presentes, o que permite saída rápida de cálcio, potássio e outros elementos.

Foi observado que todas as cultivares tiveram o mesmo comportamento em relação ao manganês. Apresentaram mínimos de produção e não foram, por isso, classificadas como tolerantes, mas agrupadas dentro das faixas de sensibilidade.

a. Medianamente sensíveis - as cultivares que apresentaram mínimos na faixa de 102 a 118 ppm de manganês:

C₅ - Carioca (109 ppm), C₁₀ - CR 911 (105 ppm), C₁₂ - Cuva 168 N (102 ppm), C₂₇ - Rico Pardo (102 ppm) e C₂₈ - Rio Tibagi (118 ppm).

b. Sensíveis - as cultivares que apresentaram mínimos na faixa de 72 a 99 ppm de manganês:

C₉ - Costa Rica 1031 (83 ppm), C₁₂ - Goiano Precoce (95 ppm), C₁₇ - Jamapa (90 ppm), C₂₂ - Porillo Sintético (72 ppm) e C₂₉ - Rosinha (99 ppm).

Munns et al. (1963 c) discutem as diferenças varietais em relação à tolerância ao manganês, em trabalhos com aveia, através de mecanismos da cinética de absorção e translocação do manganês dentro da planta. De modo geral, o manganês absorvido pelas raízes pode chegar ao topo da planta não diretamente, mas através de etapas. As diferenças dos genótipos podem se manifestar de acordo com a variação no volume de manganês acumulado no tecido e na capacidade da planta em liberar este elemento dentro do vegetal. Trabalhos realizados por Vose & Jones (1963) e Souto & Döbereiner (1969) relataram variações no grau de tolerância ao manganês entre as diversas espécies cultivadas.

Algumas cultivares não puderam ser classificadas entre os grupos tolerantes e sensíveis. As raízes das respectivas equações de regressão saíram do campo experimental ($0 > Al > 24$ e $0 > Mn > 120$) e, por esse motivo, não foi possível tirar conclusões seguras.

O alumínio e o manganês afetaram o desenvolvimento da planta cujos efeitos foram observados na altura da planta (Tabelas 4 e 5), no comportamento da raiz (Tabelas 6 e 7), no peso da matéria seca da parte aérea (Tabelas 8 e 9), no peso da matéria seca da raiz (Tabelas 10 e 11). Não foi observada mesma constância nos efeitos destes elementos

TABELA 4. Altura das cultivares de feijão submetidas a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva, fixando os níveis de manganês.

		Tolerantes				Sensíveis		
		C ₁₆	C ₂₀	C ₂₆	C ₃₃	C ₁₇	C ₂₈	C ₃₄
		Altura da planta (cm)						
Al ₀	Mn _i	51,800 a	26,750 b	30,500 a	23,100 a	31,200 b	38,100 b	28,300 a
Al ₆		41,600 b	43,450 a	31,650 a	34,100 a	43,650 a	40,400 a	23,750 b
Al ₁₂		29,950 c	25,500 b	26,900 c	17,100 c	16,550 c	32,300 c	19,650 c
Al ₁₈		26,700 d	21,300 c	28,350 b	16,900 c	17,100 c	22,050 c	16,050 d
Al ₂₄		24,900 d	18,300 d	24,000 d	16,000 c	14,500 d	32,900 c	14,550 d
C.V.	%	5,049	6,185	5,546	6,065	7,762	4,250	9,578
DMS ₂₀	1%	1,913	1,825	1,392	1,408	2,044	1,622	2,133

TABELA 5. Altura das cultivares de feijão submetidas a diferentes níveis de manganês em solução nutritiva, fixando os níveis de alumínio.

		C ₁₃	C ₂₂	C ₂₈
		Altura da planta (cm)		
Al _i	Mn ₀	25,900 a	28,700 a	36,900 a
	Mn ₃₀	19,200 b	21,150 b	37,950 a
	Mn ₆₀	16,550 c	20,500 b	33,050 b
	Mn ₉₀	15,800 c	19,500 cb	32,200 b
	Mn ₁₂₀	18,100 b	21,100 b	34,150 b
C.V.	%	6,969	6,096	4,250
DMS ₂₀		1,422	1,464	1,622

TABELA 6. Comprimento da raiz das cultivares de feijão submetidas a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva, fixando os níveis de manganês.

		Tolerantes				Sensíveis		
		C ₁₆	C ₂₀	C ₂₆	C ₃₃	C ₁₇	C ₂₈	C ₃₄
		Comprimento da raiz (cm)						
Al ₀	Mn _i	52,350 a	25,950 b	32,550 a	20,050 b	35,750 b	39,450 b	30,650 a
Al ₆		44,500 b	42,050 a	33,900 a	36,100 a	46,250 a	41,550 a	25,600 b
Al ₁₂		30,100 c	22,000 c	28,650 bc	17,550 dc	17,750 c	32,650 dc	18,850 c
Al ₁₈		27,150 c	19,100 d	31,850 ab	17,900 c	18,500 c	34,250 c	18,450 c
Al ₂₄		26,940 cd	16,300 de	27,550 c	16,300 d	17,550 c	34,400 c	16,300 d
C.V.	%	4,020	10,730	5,090	5,200	6,860	4,390	5,480
DMS ₂₀		1,560	2,849	1,685	1,259	1,999	1,716	1,291

TABELA 7. Comprimento da raiz das cultivares de feijão submetidas a diferentes níveis de manganês em solução nutritiva, fixando os níveis de alumínio.

		C ₁₃	C ₂₂	C ₂₈
		Comprimento da raiz (cm)		
Al _i	Mn ₀	28,900 a	31,250 a	37,150 a
	Mn ₃₀	22,250 b	23,850 b	38,250 a
	Mn ₆₀	16,400 c	22,150 c	34,950 cb
	Mn ₉₀	17,500 bc	22,150 c	37,500 ab
	Mn ₁₂₀	20,650 b	23,800 b	36,250 b
C.V.	%	17,070	5,520	4,390
DMS ₂₀	1%	3,873	1,448	1,716

TABELA 8. Peso da matéria seca da parte aérea das cultivares de feijão submetidas a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva, fixando os níveis de manganês em solução nutritiva.

		Tolerantes				Sansíveis		
		C ₁₆	C ₂₀	C ₂₆	C ₃₃	C ₁₇	C ₂₈	C ₃₄
		Matéria seca da parte aérea (g)						
Al ₀	Mn _i	0,709 a	0,356 c	0,475 c	0,381 d	0,600 a	0,596 a	0,345 a
Al ₆		0,632 c	0,454 ab	0,571 b	0,371 d	0,473 a	0,532 c	0,261 c
Al ₁₂		0,659 b	0,467 a	0,598 b	0,545 b	0,515 b	0,471 b	0,225 d
Al ₁₈		0,663 b	0,478 a	0,661 a	0,606 a	0,522 ab	0,552 ab	0,293 b
Al ₂₄		0,626 c	0,439 b	0,493 c	0,460 c	0,547 a	0,566 a	0,304 b
C.V.	%	4,280	5,050	4,690	5,660	5,000	4,760	4,690
DMS ₂₀	1%	0,022	0,023	0,028	0,028	0,028	0,027	0,014

TABELA 9. Peso da matéria seca da parte aérea das cultivares de feijão submetidas a diferentes níveis de manganês em solução nutritiva, fixando os níveis de alumínio.

		C ₁₃	C ₂₂	C ₂₈
		Matéria seca da parte aérea (g)		
Al _i	Mn ₀	0,554 a	0,543 a	0,713 a
	Mn ₃₀	0,506 b	0,341 c	0,555 b
	Mn ₆₀	0,428 d	0,309 d	0,524 c
	Mn ₉₀	0,467 c	0,287 e	0,481 d
	Mn ₁₂₀	0,444 d	0,383 b	0,444 e
C.V.	%	4,360	4,960	4,760
DMS ₂₀	1%	0,022	0,019	0,027

TABELA 10. Peso da matéria seca da raiz das cultivares de feijão submetidas a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva, fixando os níveis de manganês.

		Tolerantes				Sensíveis		
		C ₁₆	C ₂₀	C ₂₆	C ₃₃	C ₁₇	C ₂₈	C ₃₄
		Matéria seca da raiz (g)						
Al ₀	Mn _i	0,091 c	0,075 c	0,087 c	0,098 c	0,143 a	0,099 b	0,047 a
Al ₆		0,141 a	0,150 a	0,106 a	0,154 a	0,136 a	0,105 ab	0,042 a
Al ₁₂		0,133 ab	0,093 b	0,113 a	0,077 c	0,103 a	0,068 c	0,026 b
Al ₁₈		0,129 b	0,054 d	0,101 ab	0,105 b	0,093 c	0,091 b	0,048 a
Al ₂₄		0,090 c	0,083 bc	0,085 c	0,071 c	0,083 c	0,110 a	0,042 a
C.V.	%	8,720	11,440	10,620	11,040	9,570	9,970	15,910
DMS ₂₀	1%	0,011	0,011	0,011	0,012	0,011	0,008	0,007

TABELA 11. Peso da matéria seca da raiz das cultivares de feijão submetidas a diferentes níveis de manganês em solução nutritiva, fixando os níveis de alumínio.

		C ₁₃	C ₂₂	C ₂₈
		Matéria seca da raiz (g)		
Al _i	Mn ₀	0,107 a	0,099 a	0,116 a
	Mn ₃₀	0,083 b	0,059 c	0,095 b
	Mn ₆₀	0,066 c	0,048 dc	0,089 b
	Mn ₉₀	0,069 c	0,055 c	0,089 b
	Mn ₁₂₀	0,065 c	0,070 b	0,085 bc
C.V.	%	9,330	12,260	9,970
DMS ₂₀		0,008	0,009	0,008

sobre os parâmetros instalados e por esse motivo optou-se pelo peso da matéria seca total na seleção de cultivares, porque esse parâmetro reúne outros parâmetros e reflete o desenvolvimento geral da planta.

CONCLUSÕES

1. O uso de regressão utilizando peso da matéria seca total permitiu agrupar as cultivares, em relação ao alumínio, em tolerantes, medianamente sensíveis e sensíveis propriamente ditas.

2. O mesmo processo, em relação ao manganês, permitiu agrupar as cultivares em medianamente sensíveis e sensíveis.

3. Algumas cultivares não puderam ser classificadas nos grupos tolerantes e sensíveis porque os valores de máximos e/ou mínimos extraídos das equações de regressão caíram fora do limite experimental.

4. O peso seco da parte aérea, o peso seco da raiz, a altura da planta e o comprimento da raiz foram afetados pelo alumínio e pelo manganês.

REFERÊNCIAS

- FOY, C.D.; FLEMING, A.L. & ARMIGER, W.H. Aluminium tolerance of soybean varieties in relation to calcium nutrition. *Agron. J.*, 61:505-11, 1969.
- FOY, C.D.; FLEMING, A.L. & GERLOFF, G.C. Differential aluminium tolerance in two snapbean varieties. *Agron. J.*, 64:815-8, 1972.
- FOY, C.D.; LAFEVER, H.N. & FLEMING, A.L. Aluminium tolerance of wheat cultivars related to region of origin. *Agron. J.*, 66:751-8, 1974.
- HANSON, W.D. & KAMPRATH, E.J. Selection for aluminium tolerance in soybeans based on seedlings root growth. *Agron. J.*, 71:581-6, 1979.
- HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I. The water culture method for growing plants without soil. California, Agr. Exp. Sta., 1950. (Circ. 347).
- HOWELER, R.H. & CADAVID, L.F. Screening of rice cultivars for tolerance to Al toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. *Agron. J.*, 68:551-5, 1976.
- KLAMT, E. Calagem "maciça" e disponibilidade de manganês. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia e Veterinária, 1969. 4p. (Folheto, 1).
- MAGISTAD, D.C. The aluminium content of the soil solution and its relation to soil reaction and plant growth. *Soil Sci.*, 20:181-212, 1925.

- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola - nutrição e fertilidade do solo. São Paulo, Agronômica Ceres, 1967. 528p.
- MALAVOLTA, E. Práticas de nutrição mineral de plantas. Piracicaba, ESALQ - Dept^o de Química, 1976. 65p.
- MCLEAN, F.T. & GILBERT, B.E. The relative aluminium tolerance of crop plants. *Soil Sci.*, 24:163-75, 1927.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Worblaufen - Bern, International Potash Institute, 1978. 593p.
- MUGWIRA, L.M.; ELGAWHARY, S.M. & PATEL, S.U. Aluminium tolerance in triticale, wheat and rye as measured by root growth characteristics and aluminium concentration. *Plant Soil*, 50:681-90, 1978.
- MUNNS, D.N.; JACOBSON, L. & JOHNSON, C.M. Uptake and distribution of manganese in oat plants. II. A kinetic model. *Plant Soil*, 19:193-204, 1963a.
- MUNNS, D.N.; JOHNSON, C.M. & JACOBSON, L. Uptake and distribution of manganese in oat plants. III. An analysis of biotic and environmental effects. *Plant Soil*, 19:285-95, 1963b.
- MUNNS, D.N.; JOHNSON, C.M. & JACOBSON, L. Uptake and distribution of manganese in oat plants. I. Varietal variation. *Plant Soil*, 19:115-26, 1963c.
- MYERS, R.H. Response surface methodology. Boston, Allyn & Bacon, Inc., 1971. 231p.
- NOGUEIRA, F.D. Efeitos do alumínio no sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench). Piracicaba, ESALQ-UPS, 1979. 120p. Tese Doutorado.
- OHKI, R. Manganese and zinc related to maximum growth for selected agronomic crops. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOIL ENVIRONMENT AND FERTILITY MANGANESE IN INTENSIVE AGRICULTURE. Tokyo, 1977. Proceedings . . . Tokyo, 1977. p.603-11.
- POLLE, E.; KONZAK, C.F. & KITTRICK, J.A. Screening for Al tolerance in maize. Washington, Office of Agriculture, Development Support Bureau, Agency for International Development, 1978. 23p. (Agriculture Technology for Developing Countries, Technical Series Bulletin, 22).
- SOUTO, S.M. & DÖBEREINER, J. Toxidez de manganês em leguminosas forrageiras tropicais. *Pesq. agropec. bras.*, 4:129-38, 1969.
- VOSE, P.B. & JONES, D.G. The interaction of manganese and calcium on nodulation and growth in varieties of *Trifolium repens*. *Plant Soil*, 18:372-83, 1963.
- WALLIHAN, E.F. The influence of aluminium on the phosphorus nutrition of plants. *Am. J. Bot.*, 35: 106-12, 1948.
- WRIGHT, K.E. Internal precipitation of phosphorus in relation to aluminium toxicity. *Plant Physiol.*, 18: 709-12, 1943.