

Tolerância de cultivares híbridas de cacau a alumínio

Maria Bernadeth M. Santana¹, Milton Macoto Yamada² e Charles José L. de Santana¹

Resumo

Com o objetivo de avaliar a tolerância de quatro combinações híbridas e da cultivar Catongo a alumínio, conduziu-se um ensaio em solução nutritiva com diferentes níveis desse elemento. Os diferentes tratamentos foram constituídos das combinações SIC 864 x SIC 328, SIC 823 x ICS 1, SIC 831 x Sca 6, SIC 831 x IMC 67 e Catongo cultivadas em solução nutritiva de Steinberg a 1/5 (com baixo nível de P: $4 \mu\text{g. ml}^{-1}$), acrescida das doses 0, 5, 10, 15 e $20 \mu\text{g. ml}^{-1}$ de alumínio, na forma de sulfato. Empregou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com cinco repetições e a unidade experimental foi constituída por três plantas. As soluções eram substituídas quinzenalmente, ajustando-se o pH para 4,0 a 4,2. As plantas foram colhidas aos 110 dias, medindo-se a área foliar, produção de matéria seca e teores de P, K, Ca, Mg e Al nas raízes e porções inferior e superior da parte aérea. A maior tolerância a nível baixo de fósforo em presença de alumínio, a menor diferença da área foliar e da produção de matéria seca entre as plantas do tratamento zero e de 20 ppm, o maior nível crítico de alumínio para redução da área foliar e da produção de matéria seca em 25% em relação ao tratamento zero, e a relação mais baixa de K/Ca + Mg, nos cruzamentos SIC 831 x Sca 6 seguido de SIC 931 x IMC 67 indicam maior tolerância destas cultivares ao alumínio em relação às outras três.

Palavras chave: Theobroma cacao, híbrido, tolerância a alumínio

Tolerance of cacao hybrids to aluminum

Abstract

To evaluate the differences among five cultivars of cacao (four hybrids combinations and Catongo) relative to aluminum tolerance, the plants were tested in nutrient solution with different levels of the element. The combinations, SIC 864 x SIC 328, SIC 823 x ICS 1, SIC 831 x Sca 6, SIC 831 x IMC 67 and the Catongo were grown in a Steinberg solution (1/5 strength) with a low level of P, $4 \mu\text{g. ml}^{-1}$ and with levels of 0, 5, 10, 15 and $20 \mu\text{g. ml}^{-1}$ of aluminum as sulfate. A completely randomized block experimental design was used with five repetitions; the experiment unit was three plants. The solutions were replaced every two weeks; the pH was adjusted to 4.0–4.2. The plants were collected at 110 days. The foliar area, dry matter production and the P, K, Ca, Mg and Al contents in the roots and aerial parts were measured. The higher tolerance to the

¹ Divisão de Geociências, Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC), Caixa Postal 7, 45.600, Itabuna, Bahia, Brasil.

² Divisão de Genética, CEPEC.

low level of phosphorus in the presence of aluminum, the small difference of the foliar area and dry matter production between plants for 0 and 20 ppm of aluminum treatments, the higher critical level of aluminum for a reduction of 25% of the foliar area and dry matter production in relation to the zero treatment, and the lower relation of K/Ca+Mg in the SIC 831 x Sca 6 combination followed by SIC 831 x IMC 67 suggest a greater tolerance of these cultivars to aluminum than the other three.

Key words: *Theobroma cacao*, hybrid, aluminum tolerance

Introdução

Entre os solos cultivados com cacau, no Sul da Bahia, figura a unidade Tropudult distrófico (Ultisol), que, apesar das boas características físicas, apresenta, em geral, acentuado grau de acidez, expresso em altos índices de saturação de alumínio no complexo de troca ($> 30\%$). Com a expansão da cultura, vêm sendo utilizados também os oxissolos, com teores de alumínio relativamente elevados. Nesses dois solos, tem sido recomendada a prática da calagem; no ultisol, mais para fins corretivos, e no oxissol, além de corretivo, o calcário representa fonte de suprimento de cálcio e magnésio (Cabala e Santana, 1983).

Os efeitos do alumínio têm sido avaliados no cacauero Catongo através de cultivos em soluções nutritivas, onde se tem detectado um nível de 15 a 16 ppm como limite de tolerância. Até este nível, não foi significativa a redução na produção de matéria seca, embora tenha havido diminuição na absorção de cálcio e fósforo (Santana, Cabala-Rosand e Miranda, 1973; Ezeta e Santana, 1979).

Segundo informações apresentadas por Silva, Carletto e Mariano (1982), as produções de híbridos com clones de origem amazônica (combinações com Sca 6 e com Sca 12), durante 3 anos, a partir do quarto ano de idade,

foram elevadas (1.500 kg/ha), não somente em um solo de alta fertilidade natural, como também em um solo ácido de baixa fertilidade, enquanto as produções dos híbridos com clones trinitários (ICS 1 e UF 613) foram elevadas apenas no solo de alta fertilidade. Garcia e Léon (1978) classificaram como tolerantes a alumínio os híbridos ICS 60 x Sca 12 e ICS 6 x Sca 6, com base em resultados obtidos em experimentos com soluções nutritivas.

A seleção de cultivares tolerantes a alumínio, tão em voga em culturas anuais (Miranda e Lobato, 1978; Malavolta, Nogueira e Oliveira, 1981; Muzilli, 1978), pode ser aplicada a culturas perenes, como a do cacau, visando sobretudo ao aproveitamento de solos ácidos que, embora na faixa climática adequada, são considerados marginais para a cacauicultura.

Neste trabalho, procedeu-se à caracterização de quatro combinações híbridas e da cultivar Catongo com relação à tolerância a alumínio.

Material e Métodos

Sementes de Catongo e das combinações SIC 864 x SIC 328, SIC 823 x ICS 1, SIC 831 x Sca 6 e SIC 831 x IMC 67 foram colocadas em germinador de areia, onde permaneceram 20 dias após a germinação. Após esse período, as

plantas foram transferidas para vasos de 6,5 litros contendo soluções nutritivas com doses crescentes de alumínio. Empregou-se a solução de Steinberg a 1/5 (Foy et al, 1967) sem alumínio (zero) e acrescida de 5, 10, 15 e 20 mg de Al/l, na forma de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$. A composição da solução nutritiva em mg/l foi: N- NO_3^- (51,9), N- NH_4^+ (4,4), P (4,0), K (31,9), Ca (50,8), Mg (6,6), S- SO_4^{2-} (4,0), Mn (0,13), B (0,07), Zn (0,04), Cu (0,01), Mo (0,005) e Fe (1,0).

Cada híbrido foi submetido a cinco tratamentos (0, 5, 10, 15 e 20 mg de Al/l), em cinco repetições, num delineamento inteiramente casualizado. Cada unidade experimental foi constituída por três plantas.

A solução era substituída quinzenalmente, ajustando-se o pH para 4,0 a 4,2 com HCl ou NaOH. Antes da substituição, completava-se o volume da solução usada e, após homogeneização, tomava-se uma alíquota para determinação do pH e dos teores de P, K, Ca e Mg. Aos 110 dias, coletaram-se as plantas, subdividindo-as em raízes e parte aérea. Depois de lavadas três vezes em água destilada, separou-se a raiz principal, para medição do comprimento, e a parte aérea foi subdividida em parte aérea superior e inferior, considerando-se como limite a escara foliar encontrada entre a parte mais escura e a parte mais clara do caule (respectivamente parte inferior e parte superior). Destacaram-se as folhas para medição da área foliar em medidor automático e, a seguir, caules e folhas foram colocados em sacos de papel e levados à estufa para secagem a uma temperatura entre 65 e 70 °C du-

rante 72 horas. Após a secagem, tanto as raízes quanto a parte aérea foram pesadas, para cômputo da produção de matéria seca, e moídas para dosagem de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio em extrato nitro perclórico (5:1). Com exceção do alumínio, que foi medido por espectrometria de emissão de plasma, nos laboratórios de CENA (Piracicaba, SP), os demais elementos foram dosados de acordo com os métodos empregados nos laboratórios de análise química do CEPEC (Santana, Pereira e Moraes, 1977).

Calculou-se também o nível de Al em que cada variedade teve a área foliar e a produção de matéria seca reduzidas em 25% em relação à testemunha (sem alumínio).

Resultados e Discussão

No Quadro 1, encontram-se os dados relativos aos teores de P na solução nutritiva, antes do uso, e nas soluções usadas e substituídas a cada 15 dias. Os demais nutrientes deixaram de ser apresentados porque não foram afetados pelo alumínio da solução. Observa-se que parte do fósforo, à semelhança do que ocorre no solo, fora imobilizado na solução, mesmo antes do uso, tomando-se essa imobilização mais acentuada com o tempo de cultivo, havendo também a depleção normal resultante da absorção. Nas últimas substituições, observou-se menor teor de P nas soluções com menor concentração de alumínio, devido naturalmente a maior absorção pelas plantas que se desenvolveram mais. Nos níveis mais elevados de alumínio, o fósforo assimilável passou a quase zero na solução, o que mostra a grande influên-

Quadro 1 - Níveis de fósforo nas soluções nutritivas, antes e após cada substituição.

Tratamentos (doses de Al em ppm)	Substituições						
	Antes	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
	ppm de P						
0	3,86	3,15	2,02	1,33	0,07	0,02	0,01
5	3,62	0,79	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02
10	3,18	0,46	0,05	0,03	0,07	0,01	0,05
15	2,78	0,51	0,03	0,03	0,06	0,03	0,05
20	2,44	0,65	0,04	0,06	0,06	0,06	0,08

cia daquele elemento na imobilização do fósforo. Com efeito, observou-se uma deficiência acentuada deste elemento nas plantas, com queda das folhas basais e conseqüentemente transporte de fósforo para as folhas superiores.

Os primeiros sinais de deficiência de fósforo, caracterizados pela presença de pontos necróticos nas folhas mais velhas, foram observados aos 45 dias, em estágio avançado, em todas as repetições dos tratamentos 15 a 20 da cultivar Catongo; em estágio inicial em algumas repetições dos tratamentos 15 a 20 das combinações SIC 864 x SIC 328 e SIC 823 x ICS 1; em estágio inicial em algumas repetições do tratamento 20 da combinação SIC 831 x IMC 67; e nenhuma ocorrência na combinação SIC 831 x Sca 6.

Esses sintomas evoluíram e tornaram-se mais generalizados, principalmente nas cultivares Catongo SIC 864 x SIC 328, SIC 823 x ICS 1, registrando-se inclusive queda de folhas aos 75 dias; foram porém menos generalizados e menos acentuados na combinação SIC 831 x IMC 67 e praticamente inexistentes na SIC 831 x Sca 6. A análise

das folhas caídas prematuramente revelou teores de P extremamente baixos (0,03 a 0,08%). Essa capacidade de sobreviver sob baixos teores de fósforo em presença de altos níveis de alumínio, sem maiores conseqüências, sugere uma possível tolerância da cultivar a este último elemento. Cabala-Rosand e Mariano (1985) assinalaram que as combinações SIC 831 x Sca 6 e SIC 831 x IMC 67 mostraram-se como as de maior capacidade em absorver fósforo da solução nutritiva. Salinas e Sanchez (1976) admitem que maior capacidade de absorção de fósforo está associada a tolerância a alumínio, mostrando que variedades de sorgo tolerantes a alumínio foram também tolerantes a estresse de fósforo. Esses dados reafirmam a necessidade da aplicação de maiores quantidades de fósforo em solos contendo índices elevados de alumínio trocável.

Na Figura 1, encontram-se representados os dados relativos a área foliar, peso da matéria seca total e os teores de cálcio, potássio e magnésio das porções superior e inferior da parte aérea. Obviamente, à medida que se elevam

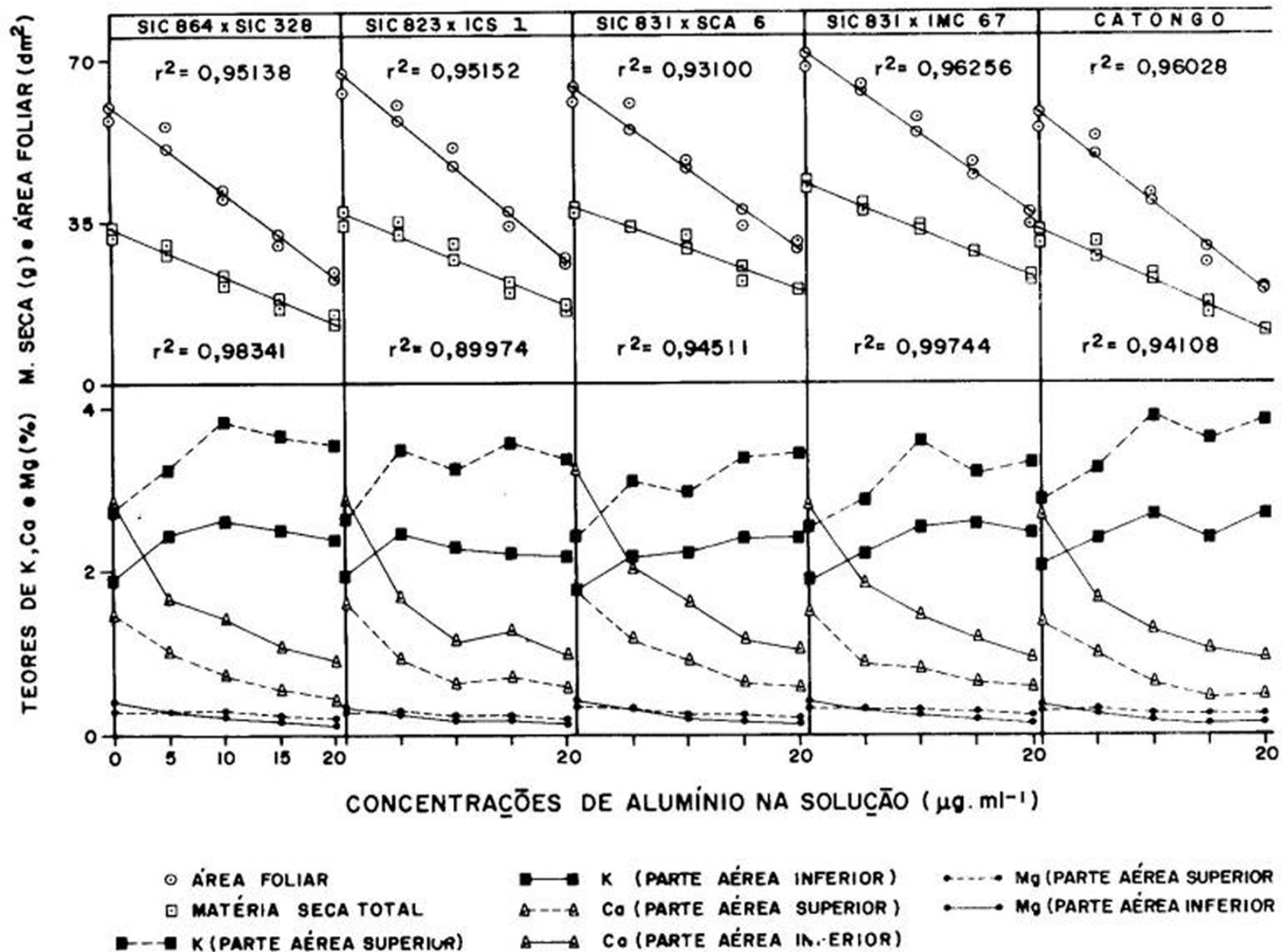


Figura 1 - Área foliar, matéria seca total e teores de K, Ca e Mg das porções superior e inferior da parte aérea das variedades de cacau submetidas a doses crescentes de alumínio.

os níveis de alumínio na solução nutritiva, há um decréscimo nos valores correspondentes à área foliar e produção de matéria seca, numa correlação bastante elevada, conforme os valores apresentados junto aos gráficos.

A diferença da área foliar e da produção de matéria seca entre as plantas do nível zero e as de 20 ppm de Al foi menos acentuada no SIC 831 x Sca 6, indicando maior grau de tolerância dessa cultivar em relação às que foram incluídas neste trabalho, principalmente a SIC 864 x SIC 328, SIC 823 x ICS 1 e Catongo.

Os níveis de alumínio, em ppm, na solução nutritiva, para reduzir em 25% a área foliar e a produção de matéria seca total, calculados a partir das equações de regressão, para cada uma das cultivares, foram para área foliar: 8,1, 8,3, 9,1, 10,3 e 7,6, e para matéria seca: 8,1, 9,2, 10,5, 10,5 e 7,6, respectivamente para SIC 864 x SIC 328, SIC 823 x ICS 1, SIC 831 x Sca 6, SIC 831 x IMC 67 e Catongo. Os mais elevados foram para SIC 831 x Sca 6 e SIC 831 x IMC 67 e o mais baixo foi para a cultivar Catongo que, aparentemente, é a menos tolerante. É possível que, em níveis mais elevados de fósforo, esses limites atinjam valores bem superiores.

Os teores de cálcio foram mais baixos na porção superior da parte aérea e, tanto na porção superior quanto na inferior, reduziram-se com o aumento dos níveis de alumínio. Contrariamente, houve aumento nos teores de potássio com os níveis de alumínio e, sendo um elemento bastante móvel na planta, os teores foram mais baixos na porção

inferior. Com relação às bases, portanto, o efeito do alumínio se exerce principalmente reduzindo a absorção do cálcio e elevando a absorção de potássio, mantendo-se assim o equilíbrio eletroquímico nos tecidos. Embora não esteja ainda esclarecido, tem-se constatado o efeito do alumínio e de outros íons polivalentes sobre a acumulação de potássio nos tecidos, ao ponto de já se haver sugerido o uso da relação $K/Ca + Mg$ como critério para medir-se o efeito adverso do alumínio. Ward e Sutton (1960) assinalam, em um trabalho sobre toxicidade em pimenta-do-reino, que, quando essa relação era de 1,29, a planta havia sido ligeiramente afetada e, com 3,89, os danos já foram considerados severos.

O Quadro 2 mostra os valores médios dessa relação nos diferentes níveis de alumínio. Nas condições deste experimento, os valores globais dessa relação foram 0,58 e 1,48 (respectivamente porção inferior e porção superior) na testemunha e aumentaram progressivamente até 2,32 e 4,08 (inferior e superior) no tratamento 20 ppm de Al, com ligeira tendência de serem mais baixos nas combinações SIC 831 x Sca 6 e SIC 831 x IMC 67, os quais, de acordo com outros parâmetros, têm-se mostrado mais promissores em termos de tolerância a alumínio. Ezeta e Santana (1979), estudando o efeito do alumínio sobre absorção de nutrientes em plântulas de cacauzeiros Catongo, obtiveram, para a relação $K/(Ca + Mg)$, valores de 1,88 na testemunha e 3,56 na dose de 10 ppm de alumínio.

Contrariamente, Malavolta, Nogueira e Oliveira (1981) mostram que as

Quadro 2 - Valores médios da relação K/(Ca+Mg) para os diferentes níveis de Al nos diferentes híbridos.

Tratamentos (doses de Al em ppm)	Combinações	Parte aérea	
		inferior	superior
0	SIC 864 x SIC 328	0,58	1,53
	SIC 823 x ICS 1	0,59	1,63
	SIC 831 x Sca 6	0,48	1,14
	SIC 831 x IMC 67	0,60	1,40
	Catongo	0,66	1,70
5	SIC 864 x SIC 328	1,26	2,45
	SIC 823 x ICS 1	1,26	2,95
	SIC 831 x Sca 6	0,94	2,11
	SIC 831 x IMC 67	0,83	2,43
	Catongo	1,15	2,50
10	SIC 864 x SIC 328	1,59	3,83
	SIC 823 x ICS 1	1,74	4,27
	SIC 831 x Sca 6	1,23	2,58
	SIC 831 x IMC 67	1,53	2,95
	Catongo	1,91	4,48
15	SIC 864 x SIC 328	2,07	4,37
	SIC 823 x ICS 1	1,77	3,96
	SIC 831 x Sca 6	1,89	3,84
	SIC 831 x IMC 67	1,96	3,56
	Catongo	2,07	5,00
20	SIC 864 x SIC 328	2,32	5,32
	SIC 823 x ICS 1	2,27	4,55
	SIC 831 x Sca 6	2,11	4,52
	SIC 831 x IMC 67	2,38	4,39
	Catongo	2,52	5,24

variedades mais tolerantes de sorgo e feijão absorveram mais potássio em presença de maiores quantidades de alumínio.

Os teores de fósforo e de alumínio das raízes e da parte aérea (porção superior e inferior) encontram-se apresentados no Quadro 3.

Nos tratamentos a partir de 5 ppm de alumínio, na solução, observou-se uma redução gradativa dos teores de fósforo dos tecidos da parte aérea e uma crescente mobilização da porção inferior para a porção superior, o que é comumen-

te observado em casos de deficiência desse elemento.

No tratamento sem alumínio, apenas 46,7% do fósforo foram mobilizados para a porção superior, enquanto a 5, 10, 15 e 20 ppm essa taxa foi de, respectivamente, 61,8, 64,6, 65,7 e 67,7%. Nas folhas caídas prematuramente os teores desse elemento variaram entre 0,03 e 0,08%.

Os níveis de alumínio foram inferiores a 150 ppm na porção superior e variaram de 196 a 309 ppm na parte inferior, sendo que, nas folhas caídas,

esses níveis atingiram valores médios de 397 ppm.

Nas raízes, quase não houve redução nos teores de fósforo, e os níveis médios de alumínio foram consideravelmente elevados, atingindo percentuais médios de 0,795, 1,029, 0,921 e 1,112, respectivamente, nas plantas dos tratamentos 5, 10, 15 e 20 ppm de alumínio. É amplamente comentado na literatura o efeito de interação entre alumínio e fósforo no sistema radicular, admitindo alguns autores (Hsu e Rennie, 1962; Clarkson,

1966) que se trata de uma reação de adsorção-precipitação entre $H_2PO_4^-$ e o grupo $Al(OH)_2^+$ predominantemente a pH abaixo de 5,0, o que reduz efetivamente a quantidade de fósforo disponível a ser transportado para a parte aérea e entrar nos "pools" metabólicos da raiz. Como o pH das soluções, no presente experimento, esteve sempre abaixo de 4,5, deve ter ocorrido uma reação similar, podendo-se explicar assim a existência de altos teores de fósforo no sistema radicular e baixos teores na parte aérea.

Quadro 3 - Teores de P e Al nas raízes e nas porções inferior e superior da parte aérea.

Tratamentos (doses de Al em ppm)	Raízes		Parte aérea			
	P(%)	Al(%)	Inferior		Superior	
	P(%)	Al(%)	P(%)	Al(ppm)	P(%)	Al(ppm)
0	0,426	-	0,454	-	0,395	-
	0,503	-	0,426	-	0,409	-
	0,487	-	0,445	-	0,365	-
	0,388	-	0,393	-	0,364	-
	0,448	-	0,493	-	0,404	-
5	0,397	0,846	0,184	161	0,327	70
	0,395	0,727	0,164	166	0,306	75
	0,437	0,827	0,191	310	0,277	135
	0,426	0,784	0,195	128	0,281	144
	0,387	0,791	0,179	213	0,283	110
10	0,441	1,130	0,162	186	0,302	121
	0,416	1,016	0,121	169	0,240	101
	0,377	0,934	0,119	202	0,206	128
	0,406	1,076	0,158	160	0,279	82
	0,411	0,948	0,169	141	0,306	99
15	0,395	1,104	0,118	204	0,259	104
	0,402	0,978	0,184	262	0,261	134
	0,308	0,701	0,093	231	0,173	129
	0,373	0,854	0,137	237	0,262	121
	0,398	1,070	0,120	249	0,289	153
20	0,405	1,121	0,104	280	0,261	156
	0,444	1,094	0,108	364	0,180	150
	0,356	0,953	0,089	234	0,179	162
	0,414	1,097	0,106	372	0,199	106
	0,502	1,294	0,123	294	0,292	143

Conclusões

- A maior capacidade de crescimento da combinação SIC 831 x Sca 6 seguida de SIC 831 x IMC 67, em nível baixo de fósforo na presença de alumínio, indica maior tolerância destas cultivares a este elemento;
- Essas mesmas cultivares tiveram a área foliar e as produções de matéria seca reduzidas em 25% com maiores doses de alumínio;
- Também a relação $K/(Ca + Mg)$, parâmetro sugerido como critério para classificação de espécies ou variedades tolerantes, foi mais baixa na SIC 831 x Sca 6 e na SIC 831 x IMC 67.

Agradecimentos

Os autores agradecem a participação de Dr. Percy Cabala-Rosand, dos técnicos agrícolas Sebastião Assis Brandão e Renato Novaes e da equipe de laboratório da Divisão de Geociências do CEPEC na elaboração deste trabalho.

Literatura Citada

- CABALA-ROSAND, P. e SANTANA, C.J.L. 1983. A calagem na cultura do cacau. *In* Simpósio sobre Acidez e Calagem. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, 15ª. Campinas, SP, Brasil, 1982. Campinas, SBCS. pp. 321-345.
- _____. e MARIANO, A.H. 1985. Absorção diferencial de fósforo em cultivares de cacau. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 20(2):159-167.
- CLARKSON, D.T. 1966. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiology* 41:165-172.
- EZETA, F.N. e SANTANA, M.B.M. 1979. Efeito do alumínio sobre a absorção e concentração de nutrientes em plântulas de cacau. *Revista Theobroma (Brasil)* 9:173-184.
- FOY, C.D. et al. 1967. Characterization of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and barley. *Soil Science Society of America. Proceedings* 31:513-521.
- GARCIA O., A. y LEON S., A. 1978. Respuesta de cinco híbridos de cacao (*Theobroma cacao* L.) a toxicidad causada por aluminio en solución nutritiva y en un oxisol de los llanos orientales. *Revista ICA (Colombia)* 13(2):219-227.
- HSU, PA HO and RENNIE, D.A. 1962. Reactions of phosphate in aluminum systems. I. Adsorption of phosphate by X-Ray amorphous aluminum hydroxide. *Canadian Journal of Soil Science* 42:197-209.
- MALAVOLTA, E., NOGUEIRA, F.D. and OLIVEIRA, I.P. 1981. Aluminum tolerance in sorghum and bean methods and results. *Journal of Plant Nutrition* 3(1/4):687-694.
- MIRANDA, L.N. de e LOBATO, E. 1978. Tolerância de variedades de feijão e de trigo ao alumínio e à baixa disponibilidade de fósforo no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2:44-50.
- MUZZILI, O. et al. 1978. Tolerância de cultivares de soja e de trigo à acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2:34-40.
- SALINAS, J.G. and SANCHEZ, P.A. 1976. Soil plant relationships affecting varietal and spe-

- cies differences in tolerance to low available soil phosphorus. *Ciência e Cultura (Brasil)* 28:156-168.
- SANTANA, M.B.M., CABALA-ROSAND, P. e MIRANDA, E.R. de 1973. Toxidez do alumínio em plântulas de cacau. *Revista Theobroma (Brasil)* 3(4):11-21.
- _____, PEREIRA, G.C. e MORAIS, F.I. de O. 1977. Métodos de análise de solos, plantas e água utilizados no laboratório do Setor de Fertilidade do CEPEC. Ilhéus, BA, Brasil, CEPLAC/CEPEC. 28p.
- SILVA, L.F. da, CARLETTO, G.A. e MARIANO, A.H. 1982. Influência do solo na produtividade de combinações híbridas de cacau. *In* Ilhéus, BA, Brasil. CEPLAC/CEPEC. Informe Técnico 1981. Ilhéus. pp. 13-14.
- WARD, P.W.F. de and SUTTON, C.D. 1960. Toxicity of aluminum to black pepper (*Piper nigrum* L.) in Sarawak. *Nature* 188 (4756):1129-1130.

