

DOSES DE ALUMÍNIO/FÓSFORO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE CAFEIRO (*Coffea arabica*) EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

Renan Carvalhal²; Mario Miyazawa³

¹ Trabalho financiado pelo Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR

² Graduando de agronomia – Universidade Estadual de Londrina – UEL / e-mail: renan_carvalhal@hotmail.com

³ Pesquisador Dr., IAPAR, Caixa Postal, 481, CEP 86001-970, Londrina, PR.

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito dos íons de Al^{3+} e a interação de Al e P no desenvolvimento da parte aérea, volume de raízes e na massa seca de raiz e caule em plantas de café IAPAR 59 (*Coffea arabica*) cultivadas em solução nutritiva. Foram realizados dois experimentos. No primeiro, foram combinadas sete concentrações de Al em solução ajustada com a $0,2 \text{ mmol dm}^{-3}$ de P. Já no segundo experimento, foram adicionadas sete concentrações de Al em solução contendo $1,0 \text{ mmol dm}^{-3}$ de P, em ambos os experimentos utilizaram-se seis repetições e um desenho estatístico inteiramente casualizado. As concentrações de Al nas folhas e raízes aumentaram progressivamente com o aumento de Al^{3+} na solução. As soluções com baixas concentrações de Al ($0,25 \text{ mmol dm}^{-3}$), estimularam o desenvolvimento da parte aérea das mudas de cafeeiro. Os meios com concentrações superiores a $0,05 \text{ mmol dm}^{-3}$ de Al independentemente da concentração de P, causaram nas raízes: redução da quantidade de raízes secundárias, engrossamento, maior rigidez e mudança da coloração branca para amarelo-escuro.

Palavras-Chave: Café, toxidez por alumínio, solução nutritiva.

ALUMINUM/PHOSPHORUS RATES ON DEVELOPMENT IN COFFEE SEEDLINGS (*Coffea arabica*) IN NUTRIENT SOLUTION CULTURE

ABSTRACT: This study had the objective of evaluating the Al ions effect and the interaction between Al and P in absorption and distribution of nutrients in tissue and the environment of coffee plants IAPAR 59 (*Coffea arabica*) cultivated in nutrient solution. Were realized two experiments. First of all, seven concentrations of Al were combined with $0,2 \text{ mmol dm}^{-3}$ of P in solution. On the other experiment, were combined seven concentrations of Al with a solution containing $1,0 \text{ mmol dm}^{-3}$ of P. The concentration of Al in leaves and roots were progressively increased under the Al treatments. Treatments with low concentrations of Al ($0,25 \text{ mmol dm}^{-3}$) stimulated the development of stem and leaves of coffee plants. Although, rates of Al higher than $0,05 \text{ mmol dm}^{-3}$ independent of P concentration induced in the roots: reducing of lateral roots, thicker, rigid and changes on color of white to dark yellow.

Key words: Coffee, Aluminum toxicity, nutritive solution.

INTRODUÇÃO

A maioria das regiões brasileiras produtoras de café estão localizadas em solos ácidos e apresentam níveis tóxicos de alumínio. Um dos principais sintomas da fitotoxicidade por Al^{3+} é a redução do crescimento radicular, sujeito a deficiência hídrica, menor absorção de nutrientes e menor desenvolvimento de plantas (Kerridge et al. 1971).

Geralmente o efeito prejudicial do Al ocorre em pH do solo abaixo de 5,0; mas pode ocorrer a níveis mais altos como 5,5 (Foy & Fleming, 1978). Esta é uma das razões pelas quais se faz a calagem dos solos buscando-se atingir níveis de pH próximos a 6,0, onde a atividade dos íons Al^{3+} é praticamente nula. Com relação à fertilidade dos solos, o Al em concentração elevada, pode interferir na disponibilidade de outros nutrientes. Como exemplo, formação de fosfato de Al, sal de baixa solubilidade, Sousa et. al (2007). Em experimentos conduzidos em solução nutritiva, Foy & Brown. (1963) sugerem que o P pode se combinar com íons de Al em solução com pH ácido e formar complexos Al-P na superfície das raízes, na parede das células, entre os espaços livres das células, no interior das células ou se precipitarem na solução nutritiva.

As culturas de interesse econômico manifestam diferentes graus de toxicidade à atividade de Al no solo, assim, cada cultura apresenta um valor de pH ideal para seu desenvolvimento pleno. O feijão, trigo e algodão se desenvolvem somente em solos com pH próximos a 7,0, por outro lado, plantas de chá, batata inglesa, batata doce, melancia, arroz e café são culturas adaptadas em solos ácidos. Existem algumas espécies de plantas nativas que se desenvolvem melhor em solos ácidos, $pH < 4,0$, e na presença de alto teor de Al trocável, $> 20,0 \text{ mmol.kg}^{-1}$. Como por exemplo, nos solos ácidos do Paraná: a araucária, erva-mate, samambaia, xaxim e outros. Chenery (1955), em um experimento em vasos com a cultura do chá (*Camellia sinensis* L.), sugeriu a possibilidade estimulante do Al no crescimento de raízes, ainda segundo o autor, a planta de chá absorve alumínio ao longo de seu desenvolvimento e com o tempo a concentração de Al nas folhas aumenta, podendo chegar a 5.000 mg.kg^{-1} . O grupo de pesquisadores Konishi et al. (1985) observou que o crescimento das plantas de chá foi melhor em solo fortemente ácido, $pH < 4,0$, no qual mais de $10.000 \text{ mg.kg}^{-1}$ de Al foram acumulados nas folhas velhas.

Os mecanismos de tolerância ao Al são vários. Segundo Miranda & Rowell, (1987, 1989) a tolerância ao Al pode ocorrer em plantas eficientes em absorver e translocar P para a parte aérea. Entretanto, McGormick & Borden, (1974) publicaram que parte do P absorvido é utilizada para precipitar Al nas raízes das plantas. Os objetivos desse trabalho foram avaliar o efeito dos íons Al^{3+} e interativo de Al e P no desenvolvimento e na absorção e acúmulo de Al nos tecidos de mudas de café IAPAR 59 (*Coffea arabica*) cultivadas em solução nutritiva.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação com plantas de *Coffea arabica*, L. variedade IAPAR 59, obtidas via sementes no viveiro do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). As mudas apresentavam três pares de folhas quando foram transferidas para vasos com 2,0 litros de solução nutritiva de Hoagland & Arnon, onde permaneceram durante sete dias para a adaptação. As concentrações da solução nutritiva em $mg \cdot dm^{-3}$ é apresentada a seguir: NO_3^- : $8,00 \times 10^1$, K: $2,34 \times 10^1$, Ca: $1,00 \times 10^1$, Mg: $0,48 \times 10^1$, Cu: $2,00 \times 10^{-3}$, Mo: $5,00 \times 10^{-3}$, Cl: $0,65 \times 10^{-1}$ e Fe: $0,10 \times 10^1$.

No primeiro experimento combinou-se na solução nutritiva $0,2 \text{ mmol } dm^{-3}$ de P, com sete concentrações de Al 0,00, 0,05, 0,10, 0,20, 0,40, 0,80 e $1,20 \text{ mmol } dm^{-3}$. Enquanto no segundo experimento foi utilizado $1,0 \text{ mmol } dm^{-3}$ de P, combinado com 0,00, 0,25, 0,50, 1,00, 2,00, 4,00 e $6,00 \text{ mmol } dm^{-3}$ de Al. As relações Al/P nos dois experimentos foram: 0,00, 0,25, 0,50, 1,00, 2,00, 4,00 e 6,00. O P e o Al foram adicionados nas soluções nas formas de KH_2PO_4 e $AlCl_3 \cdot 6H_2O$.

O pH da solução foi ajustado para 4,3 a fim de evitar a precipitação de $Al(OH)_3$. Foram realizados dois experimentos. No primeiro, o delineamento experimental consistiu de sete tratamentos com Al na solução com P igual a $0,2 \text{ mmol } dm^{-3}$. Já no segundo foram feitos sete tratamentos com Al na solução com P igual a $1,0 \text{ mmol } dm^{-3}$, com seis repetições e em um desenho estatístico inteiramente casualizado em ambos os experimentos.

Os cafeeiros permaneceram com os tratamentos por 180 dias, com trocas mensais das soluções. Ao fim do experimento, os cafeeiros foram coletados e separados em raízes, caules e folhas.

Primeiramente, o volume das raízes foi determinado segundo o método do deslocamento de água. As raízes foram lavadas em água destilada e colocadas em provetas graduadas (250 e 500 ml, de acordo com o tamanho das raízes), em cada proveta foi adicionado o volume de 50 ml de água. A diferença entre o volume inicial de água na proveta (50 ml) e o volume final (volume inicial + raízes) indicou o volume das raízes em ml.

A parte aérea das mudas de café foram medidas a partir da transição caule-raiz, região onde o caule afunila-se, até o meristema apical. As folhas, caules e raízes após serem secos a $60^\circ C$ durante 48 horas, foram pesados e moídos separadamente.

O teor de Al das raízes e folhas foi determinado pelo método colorimétrico após digestão seca a $550^\circ C$. O princípio do método colorimétrico consiste na formação do complexo Al^{3+} e cromóforo eriocromo cianina R (ECR) de cor avermelhada absorve que luz na região de 535nm, o complexo formado é estável entre 10 e 30 minutos. Para a determinação do Al nas amostras foi pipetado 1,0 ml da solução resultante da digestão seca para tubo de 30 ml e foram adicionados 1,0 ml de NaOH $0,25 \text{ mol } L^{-1}$; 1,0 ml de ácido ascórbico 2,5%; 1,0 ml de ECR 0,15% e 6,0 ml de NH_4OH 4M, pH 8,0. Os tubos foram agitados e após 15 minutos as amostras foram analisadas em espectrofotômetro de emissão atômica UV-VIS a 535nm.

Para construir a curva analítica e estimar a concentração de Al, foram preparadas soluções padrões de 0,0, 0,5, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 e $5,0 \text{ mg } L^{-1}$ de Al em meio ácido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos no experimento mostraram que as plantas submetidas às maiores concentrações de Al apresentaram sintomas característicos de toxidez de Al, como inibição do crescimento radicular e de parte aérea, engrossamento dos eixos radiculares, diminuição no número de raízes laterais e escurecimento das raízes.

Os efeitos interativos de Al e P no desenvolvimento das mudas de cafeeiro são apresentados nas figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6 e no quadro 1. Os resultados da figura 1, indicaram que a razão [Al]/[P] igual a 0,5 em solução contendo $1,0 \text{ mmol } dm^{-3}$ de P, promoveu o maior desenvolvimento da parte aérea, onde a média das alturas das plantas foi 26,9 cm, sendo 14,8% superior a média das alturas da testemunha. A partir da razão [Al]/[P] igual 0,5, nas soluções com $1,0 \text{ mmol } dm^{-3}$ de P, as médias das alturas diminuíram progressivamente. Já a solução com $0,2 \text{ mmol } dm^{-3}$ de P, promoveu aumento na altura das plantas até a razão [Al]/[P] igual a 1,0, nesse meio a concentração de Al na solução era $0,2 \text{ mmol } dm^{-3}$. Concentrações superiores a $0,2 \text{ mmol } dm^{-3}$ de Al combinados com $0,2 \text{ mmol } dm^{-3}$ de P na solução, inibiram progressivamente o desenvolvimento da parte aérea dos cafeeiros. Nas soluções com relação [Al]/[P] superiores a $1,0 \text{ mmol } dm^{-3}$, as plantas submetidas ao meio contendo $1,0 \text{ mmol } dm^{-3}$ de P, foram mais afetadas em relação as plantas submetidas aos tratamentos com $0,2 \text{ mmol } dm^{-3}$ de P. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato da concentração de Al ser cinco vezes maior nas soluções com $1,0 \text{ mmol } dm^{-3}$ de P (1,0; 2,0; 4,0 e $6,0 \text{ mmol } dm^{-3}$ de Al) do que nas soluções com $0,2 \text{ mmol } dm^{-3}$ de P (0,2; 0,4; 0,8 e $1,2 \text{ mmol } dm^{-3}$ de Al).

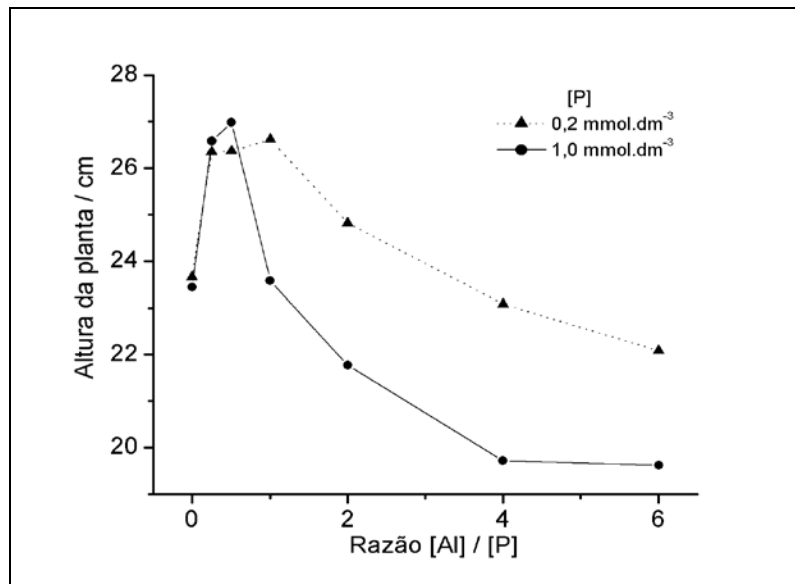


FIG. 1. Média das alturas das plantas em função da razão [Al] / [P] das soluções nutritivas. Média de seis repetições.

A figura 2 apresenta os volumes das raízes submetidas aos tratamentos interativos com Al e P. O comportamento do gráfico de massa seca das raízes (figura 3) foi semelhante ao do volume das raízes (figura 2), pois são variáveis diretamente proporcionais. Segundo Pavan (1981) a toxicidade de Al está correlacionada com a atividade de Al^{3+} e não com a concentração de Al total ou Al^{3+} na solução. O valor crítico para a atividade de Al^{3+} é $0,65 \times 10^{-5} \text{ mmol dm}^{-3}$ que corresponde a $0,148 \text{ mmol dm}^{-3}$ de Al total na solução (Pavan, 1981). Na figura 3, concentrações superiores a $0,10 \text{ mmol dm}^{-3}$ de Al na solução, independentemente da concentração de P, inibiram o desenvolvimento radicular das mudas de café. Contudo, o tratamento com $0,05 \text{ mmol dm}^{-3}$ de Al combinado com $0,2 \text{ mmol dm}^{-3}$ de P, promoveu o maior desenvolvimento radicular.

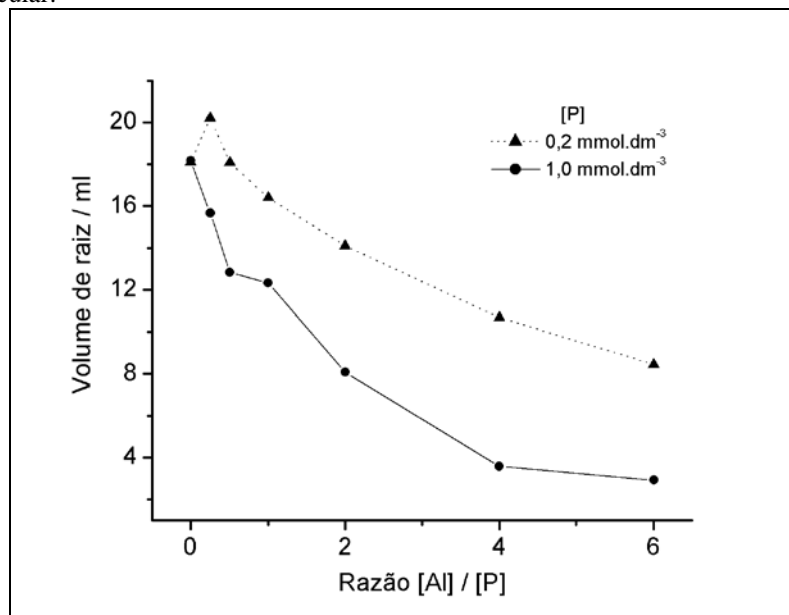


FIG. 2. Volumes das raízes em função da razão [Al] / [P] das soluções nutritivas. Média de seis repetições.

Os efeitos interativos de Al e P no desenvolvimento radicular dos cafeeiros estão apresentados na figura 3. Os resultados indicaram que as plantas submetidas a concentrações de Al maiores que $0,10 \text{ mmol dm}^{-3}$, independentemente da concentração de P na solução, tiveram o desenvolvimento das raízes inibido pela atividade dos íons Al.

Entretanto, as raízes das plantas cultivadas em solução com $0,2 \text{ mmol dm}^{-3}$ de P, na razão [Al]/[P] igual a 0,25, ou seja, $0,05 \text{ mmol dm}^{-3}$ de Al em solução, tiveram maior desenvolvimento do que os demais tratamentos, com a média das massas das raízes $3,77 \text{ g}$. Os cafeeiros submetidos à relação [Al]/[P] igual a 0,0, ou seja, em soluções sem a presença de Al, apresentaram $3,63$ e $3,62 \text{ g}$ de massa seca de raiz nas soluções contendo $0,2$ e $1,0 \text{ mmol dm}^{-3}$ de P respectivamente. Portanto, a concentração cinco vezes maior de P em solução sem Al, não promoveu o desenvolvimento das raízes. Foy & Brown (1963) publicaram que para neutralizar os efeitos tóxicos do Al solúvel seria necessário uma relação P / Al igual ou superior a 2,0 na solução. Porém, as relações [Al]/[P] igual 0,0, 0,25 e 0,50 em solução com $1,0 \text{ mmol dm}^{-3}$ de P não

neutralizaram os efeitos tóxicos do Al em solução.. Todas as concentrações de Al adicionadas nas soluções contendo $1,0 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de P diminuiu o desenvolvimento radicular dos cafeeiros.

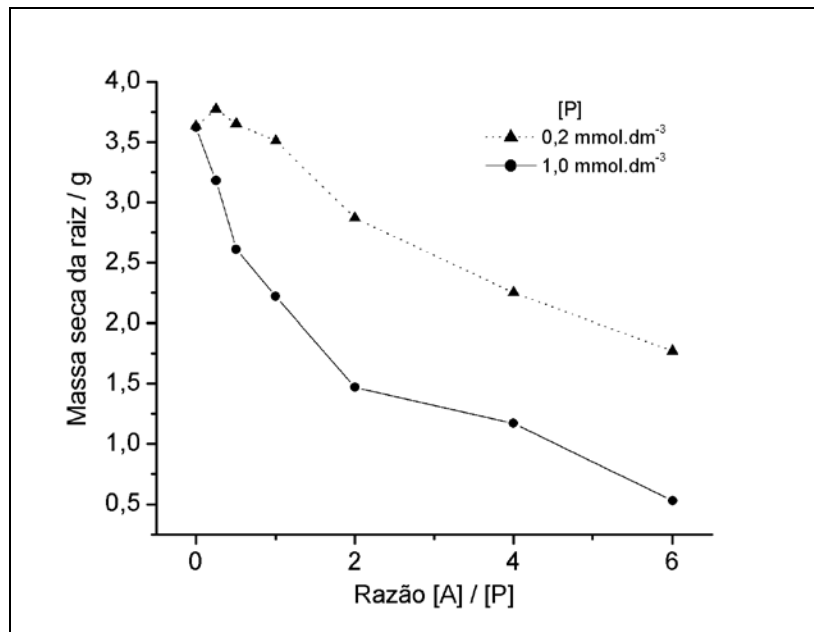


FIG. 3. Massa seca da raiz em função da razão [Al] / [P] das soluções nutritivas. Média de seis repetições

Os efeitos dos tratamentos com Al e P na produção de massa seca do caule são apresentados na figura 4. Houve aumento na massa seca caulinar nas mudas dos cafeeiros até a concentração de $0,40 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de Al em solução combinada com $0,2 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de P. Esta combinação de Al e P na solução resultou no aumento de 31,6 % da massa seca do caule em relação a testemunha. Contudo, nas concentrações acima de $0,40 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de Al em solução combinada com $0,2 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de P, os valores das massas secas dos caules diminuíram severamente. A maior produção de massa seca caulinar foi observada nas plantas alocadas em solução contendo $0,25 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de Al combinado com $1,0 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de P. Esta combinação de Al e P na solução resultou no aumento de 32,4 % da massa seca do caule em relação a testemunha. Manetti & Santos (1977) publicaram que mudas de café foram estimuladas em solução contendo $0,22 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de Al. As plantas submetidas aos tratamentos com concentrações de Al superiores a $2,0 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ foram as mais afetadas.

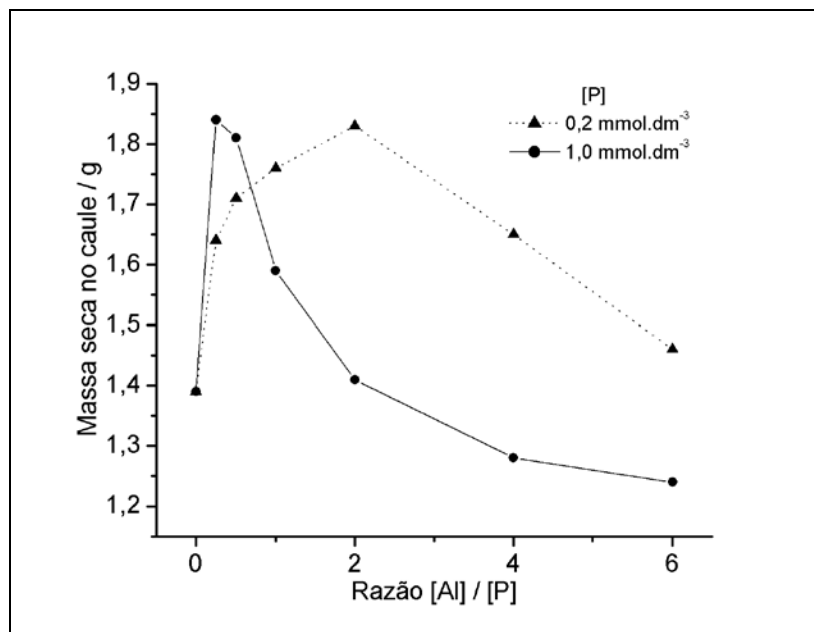


FIG. 4. Massa seca do caule em função da razão [Al] / [P] das soluções nutritivas. Média de seis repetições.

Sintomas de toxidez por Al

As raízes cresceram até a relação [Al]/[P] igual a 0,5 em soluções contendo $0,2 \text{ mmol dm}^{-3}$ de P. Já os cafeeiros submetidos a concentrações de Al superiores a $0,1 \text{ mmol dm}^{-3}$ na mesma concentração de P, tiveram o desenvolvimento radicular reduzido progressivamente, como ilustrado na figura 5. As raízes com sintomas de estresse de Al apresentaram engrossamento e rigidez dos eixos caulinares, inibição no desenvolvimento radicular, redução das raízes secundárias e mudaram a coloração de branca para amarelo-escuro.



FIG.5. Vista dos efeitos interativos entre Al e P nas mudas de cafeeiros em solução nutritiva com $0,2 \text{ mmol dm}^{-3}$ de P.

Na figura 6, é possível observar o efeito da toxidez de Al nas raízes das mudas de cafeeiro com o aumento da relação [Al]/[P], nas soluções contendo $1,0 \text{ mmol dm}^{-3}$ de P. As raízes com sintomas de estresse causado por Al apresentaram engrossamento e paralisação do crescimento devido a inibição da divisão celular, interferindo na absorção e translocação de água e nutrientes para a parte aérea (Foy et alii, 1978). Em conformidade com os resultados divulgados por Pavan (1982), as raízes das plantas controles (sem Al), eram longas, filiformes e de superfícies externas regulares e brancas. Os sintomas visuais da toxidez de Al na parte aérea das plantas foram observados nas relações [Al]/[P] superiores a 0,5, nas soluções contendo $1,0 \text{ mmol dm}^{-3}$ de Al. As folhas jovens com sintomas de toxidez de Al apresentaram forma côncava, menor tamanho e clorose internerval.



FIG.6. Vista dos efeitos interativos entre Al e P nas mudas de cafeeiros em solução nutritiva com $1,0 \text{ mmol dm}^{-3}$ de P.

O quadro 1 apresenta os resultados dos efeitos interativos de Al e P, adicionados em solução nutritiva na composição química das folhas e raízes do cafeeiro. O aumento das concentrações de Al nas soluções aumentou o teor de Al nas folhas e raízes progressivamente.

Quadro. 1. Influência dos tratamentos com Al e P na solução nutritiva sobre os teores de Al nas raízes e

[PO ₄] = 0,2 mmol/L								
Solução [Al] mmol L ⁻¹	0,00	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	
Relação [Al] / [P]	0,00	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	6,00	
[Al] mg/kg	RAIZ	0,00	1.110	1.640	2.210	4.530	5.990	6.960
	FOLHA	0,00	168	181	194	229	239	281
[PO ₄] = 1,0 mmol/L								
Solução [Al] mmol L ⁻¹	0,00	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	6,00	
Relação [Al] / [P]	0,00	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	6,00	
[Al] mg/kg	RAIZ	0,00	2.220	3.670	6.130	7.170	8.490	10.040
	FOLHA	0,00	231	241	262	288	361	540

CONCLUSÕES

1. O aumento da concentração de Al na solução nutritiva promove aumento do teor de Al nas raízes e nas folhas.
2. As raízes com sintomas de estresse de Al apresentam engrossamento e rigidez dos eixos caulinares, inibição no desenvolvimento radicular, redução das raízes secundárias e mudam a coloração de branca para amarelo-escura.
3. A baixa concentração de Al (0,25 mmol dm⁻³) na solução nutritiva promove maior desenvolvimento da parte aérea das mudas de cafeeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHENERY, E.M. A preliminary study of aluminium and the tea bush. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.6, p.174-200, 1955.
- FOY, C.D & BROWN, J.C Toxic factors in acid soils. I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 27:403-7, 1963.
- FOY, C.D & FLEMING, A.L. The physiology of plant tolerance to excess available aluminum and manganese in acid soils. In: GERALD, A.J., ed. *Crop tolerance to suboptimal land condition*. Madison, American Society of Agronomy, 1978. p.301-328.
- KERRIDGE, P.C.; DAWSON, M.D & MOORE, D.P. separation of degrees of aluminum toxicity in wheat. *Agron.*, 63:586-91, 1971.
- KONISHI, S.; MIYAMOTO, S.; TAKI, T. Stimulatory effects of Al on tea plants grown under low and high phosphorus supply. *Soil Sci. Plant Nutr.* 31:361-368, 1985.
- LINDSAY, W.L. *Chemical equilibria in soils*. New York : Wiley-Interscience, 1979. 499p.
- LÓPEZ-BUCIO, L.; NETO JACOBO, M.F.; RAMIREZ-RODRIGUES, V. & HERRERA-ESTELLA, L. Organic acids metabolism in plants: From adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Sci.*, 160:1-13,2000.
- MATTIELLO, E.D; PEREIRA, M.G; ZONTA, E; MAURI, J; MATTIELLO, J.D; MEIRELES, P.G & SILVA, I.R. Produção de matéria seca, crescimento radicular e absorção de cálcio, fósforo e alumínio por *coffea canephora* e *coffea arabica* sob influencia da atividade do alumínio em solução. *R. Brás. Ci. Solo*, 32:425-434, 2008.
- MCGORMICK, L.H. & BORDEN, F.Y The occurrence of aluminum phosphate precipitation in plants roots. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 38:931-939, 1974.
- MIRANDA, L.N. & ROWELL, D.L Aluminum-phosphate interactions in wheat plants. *New Phitol.*, 113:7-12, 1989.
- MIRANDA, L.N. & ROWELL, D.L The effects of lime and phosphorus on the function of wheat roots in acid topsoils and subsoils. *Plant Soil*, 104:253-262, 1987.
- PAVAN, M.A Toxicity of Al(III) to coffee (*coffea arabica*, L. in nutrient solution culture and in oxisols and ultisols amended with CaCO₃, MgCO₃, and CaSO₄.2H₂O. Riverside, University of California, 1981. Tese Doutorado.
- PAVAN, M.A & BINGHAM, F.T. Toxidez de alumínio em cafeeiros cultivados em solução nutritiva. *Pesq. Agropec. Brás.*, 17:1293-1302, 1982.
- SOUSA, D.M.G; MIRANDA, L.N; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. *Fertilidade do solo-Viçosa, MG; SBCS.*, 22: 205-268, 2007.
- WATANABE, T.; OSAKI, M.; YOSHIHARA, T. & TADANO, T. Aluminum-induced growth stimulatío in relation to calcium, magnesium,

and silicate nutrition in melastoma malabathricum L. Soil Sci. Plant Nutr., 43:827-837, 1997.