

EFEITO DO ALUMÍNIO SOBRE OS TEORES DE Mg, Fe, Mn e Cu EM SORGO^{1/}

José Cambraia ^{2/}
José Pires de Lemos Filho ^{2/}
Márcio de Moura Esteyão ^{2/}
Marco Antônio Oliva ^{2/}

1. INTRODUÇÃO

A toxidez de alumínio é fator que limita o crescimento e o desenvolvimento de plantas em solos de várias partes do mundo (11, 12, 19). No Brasil, esse problema, que se verifica principalmente nos solos ácidos dos cerrados, tem merecido grande atenção dos pesquisadores, notadamente quando se considera a ampliação das fronteiras agrícolas brasileiras com a utilização desses solos.

O alumínio, em níveis tóxicos, geralmente modifica a nutrição mineral das plantas. Não se sabe, entretanto, se esse efeito reflete o verdadeiro mecanismo de toxidez do alumínio ou se é apenas uma consequência de efeitos sobre o metabolismo celular ou subcelular (11). A maior parte da literatura, que relaciona toxidez de alumínio com nutrição mineral, tem se preocupado primariamente com o cálcio e o fósforo. Há relativamente pouca informação com respeito aos efeitos do alumínio sobre micronutrientes e/ou outros elementos minerais.

Sintomas visuais de toxidez de alumínio são variados e nem sempre facilmente identificados. Em sorgo, por exemplo, além de sintomas característicos de deficiência de fósforo, as folhas novas apresentam uma clorose internerval, característica de deficiência de ferro (7). Como, além do ferro, o magnésio, o cobre e o manganês, quando em níveis deficientes, podem induzir sintomatologia semelhante (17), decidiu-se estudar os efeitos do alumínio sobre os teores desses elementos minerais em dois cultivares de sorgo.

^{1/} Parte da tese apresentada à U.F.V., pelo segundo autor, como parte das exigências do curso de Mestrado em Fisiologia Vegetal.

Recebido para publicação em 17-10-1982.

^{2/} Departamento de Biologia Geral e Vegetal da U.F.V., 36570 Viçosa, MG.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Nos experimentos foram utilizados dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), obtidos do Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, sendo um tolerante (CMS x S-106) e um sensível (CMS x S-903).

As sementes, previamente tratadas com hipoclorito a 0,5%, foram germinadas em areia e desenvolvidas sob irrigação com solução de Clark (8) a 1/3 da concentração original até que completassem uma semana de idade. Após esse tempo, as plântulas foram transplantadas em número de três para recipientes de polietileno que continham 1,5 litros de solução nutritiva de Clark pH 3,8, modificada para conter 6 ppm de fósforo, sob aeração. No 13.^o dia de cultivo, em solução nutritiva, foram aplicados os tratamentos 0, 2, 4, 6 e 8 ppm de alumínio, na forma de $Al_2(SO_4)_3$, diminuindo-se os níveis de fósforo para 2,1 ppm. O pH das soluções foi reajustado de 2 em 2 dias, a partir do 8.^o dia de cultivo, e o nível de fósforo no 16.^o e 18.^o dia de cultivo. Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com quatro repetições.

Após 6 dias de cultivo em solução nutritiva, na presença de alumínio, procedeu-se à colheita das plantas, que foram lavadas em água corrente, ácido clorídrico 0,1 N e em água desmineralizada. A parte aérea e o sistema radicular foram submetidos a uma digestão nítrico-perclórica e, então, procedeu-se à determinação dos teores de alumínio pelo método da aluminona (14), de fósforo pelo método de Lindeman (16), e de ferro, de magnésio, de manganês e de cobre por espectrofotometria de absorção atômica (1).

Para a determinação da capacidade de redução de íon férrico pelo sistema radicular, sementes dos dois cultivares de sorgo, previamente tratadas com benomil 0,5%, foram colocadas entre quatro camadas de gase, a 3 cm da superfície de ± 400 ml de uma solução de $CaSO_4$ 1 mM, contida num recipiente de 600 ml. As plantas desenvolveram-se no escuro durante 72 horas, sob forte aeração da solução; após o que foram transferidas para solução nutritiva de Clark pH 3,8 (8) na ausência de ferro, e mantidas durante 7 dias sob luz branca proveniente de quatro lâmpadas fluorescentes de 40W. As soluções nutritivas foram, então, renovadas, adicionando-se-lhes 5 ppm de ferro como Fe-EDTA, 33 mg/l de $K_3[Fe(CN)_6]$ e metade das plantas tratadas com 6 ppm de alumínio. Depois de 6 horas, as plantas foram removidas para se observar no sistema radicular a formação de precipitado azul (5).

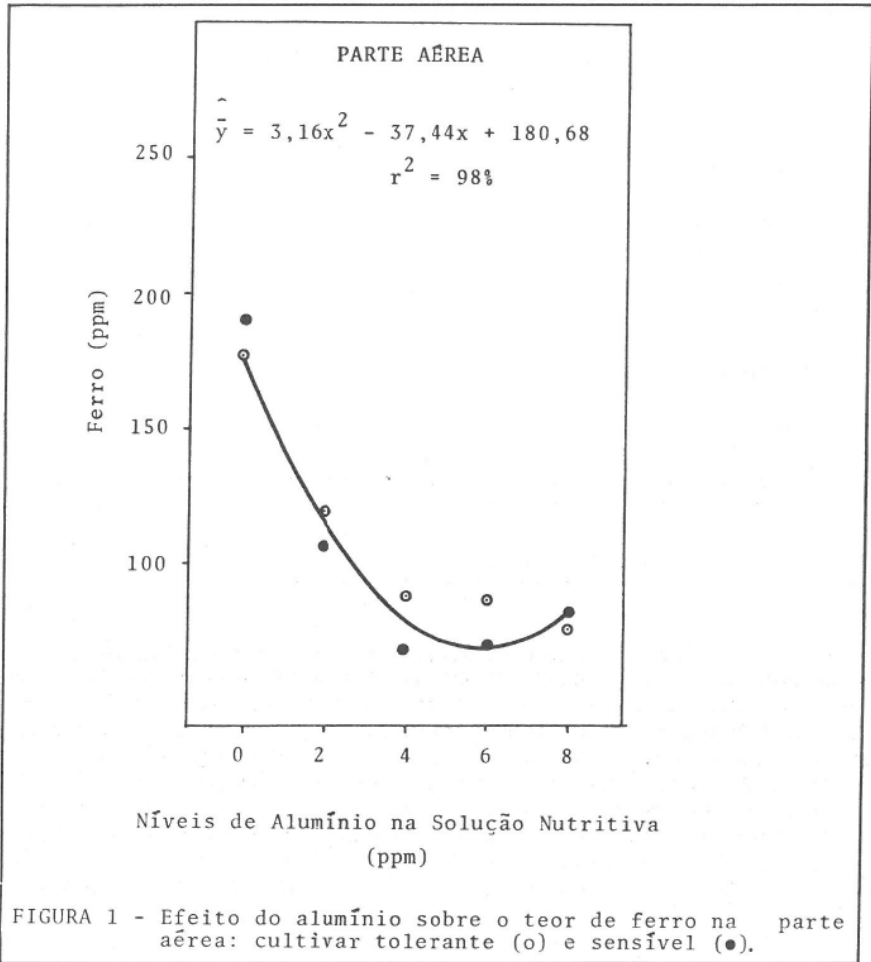
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas submetidas aos tratamentos com alumínio apresentaram suas raízes amarronzadas, e as folhas formadas após a aplicação do estresse exibiram clorose internerval, à semelhança da deficiência de ferro, sempre mais intensa no cultivar sensível.

A análise química revelou que os teores de ferro na parte aérea decresceram do mesmo modo nos dois cultivares na presença de níveis crescentes de alumínio (Figura 1). O sistema radicular, entretanto, não mostrou mudanças significativas em relação ao controle.

Os efeitos do alumínio sobre os teores de ferro são bastante variáveis, como se vê na literatura. Dependendo da espécie, da idade da planta, da composição da solução nutritiva e de outros fatores, pode-se ter aumento, diminuição ou mesmo nenhum efeito no teor de ferro, tanto na parte aérea quanto no sistema radicular (2, 6, 18, 20).

ALAM e ADAMS (2) sugerem que menores teores de ferro, nas plantas submetidas a níveis tóxicos de alumínio, resultam de uma inibição do processo de redução do íon férrico a ferroso na superfície radicular. Como isso é imprescindível na



absorção desse íon, avaliou-se a atividade redutora das raízes, sob tratamento com alumínio (Quadro 1).

Observa-se que a capacidade de as raízes reduzirem íon férrico a ferroso é inibida pela presença do alumínio, contudo diferenças entre os cultivares não foram registradas.

A clorose internerval, observada nas folhas jovens desenvolvidas sob estresse de alumínio, pode ser resultante de uma redução na absorção ou, mais provavelmente, de uma redução na mobilidade do ferro na planta. O papel de ácidos orgânicos e/ou outros compostos no processo de quelatação e na mobilidade do ferro permanece ainda obscuro. Contudo, fósforo, de alguma maneira, parece ser importante não só na determinação da forma iônica do ferro como também na estimativa da porção disponível para a planta (9). Como se vê na Figura 2, a razão P/Fe cresceu com o nível de alumínio, tendo os dois cultivares diferido significativamente entre si. Isso confirma as observações de DeKOCK *et alii* (10) de que a razão P/Fe expressa melhor o nível de ferro nas folhas que o teor de ferro total, uma vez que o cultivar sensível apresentou sintomas mais pronunciados de clorose.

QUADRO 1 - Efeito do alumínio sobre a capacidade de as raízes reduzirem o íon férrico a ferroso

Tratamento	Capacidade redutora	
	Al-sensível	Al-tolerante
Controle	+	+
+ 6 ppm de Al	-	-

+ = capacidade redutora presente; formação de precipitado azul de Turnbull nas raízes

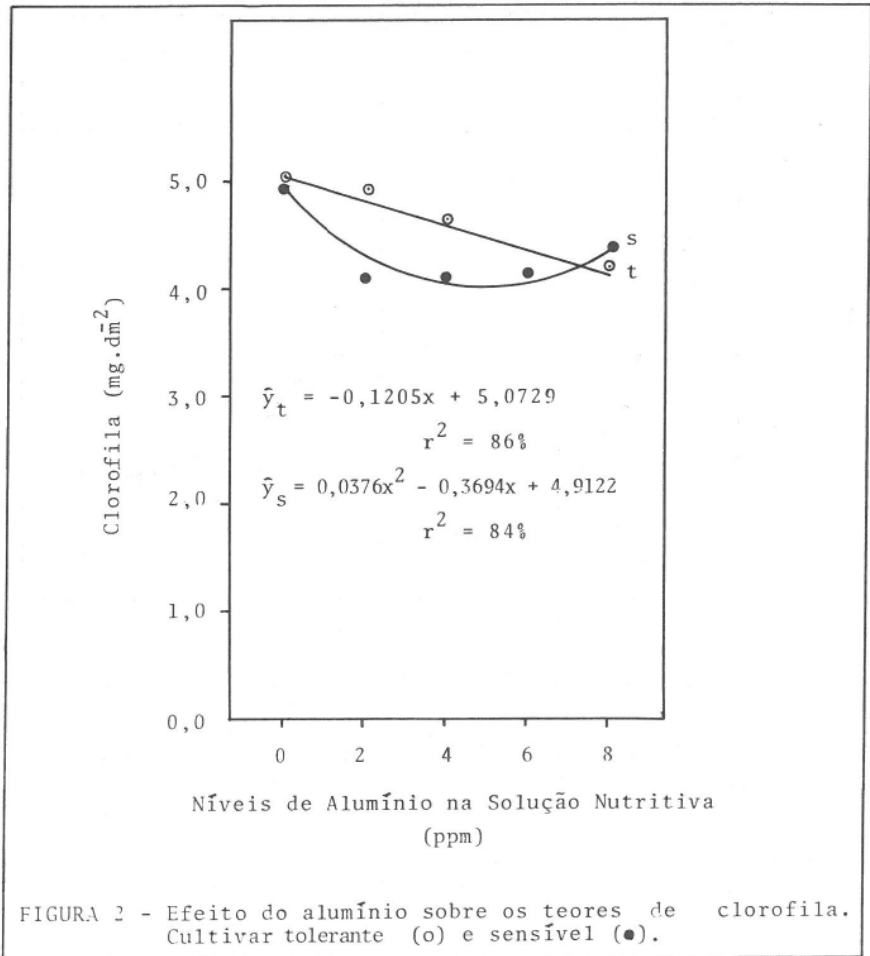
- = capacidade redutora ausente

O alumínio também reduziu significativamente os teores de magnésio no sistema radicular e na parte aérea; entretanto, em nenhum dos casos houve diferenças significativas entre os cultivares (Figura 3). Comparativamente, as reduções nos teores de magnésio observadas neste experimento foram mais pronunciadas que as obtidas por CALBO e CAMBRAIA (7), mas as diferenças entre cultivares, quanto à parte aérea, observada por aqueles autores, não foram detectadas.

Os teores de cobre (Figura 4) decresceram com o aumento do nível de alumínio na solução nutritiva, tanto no sistema radicular quanto na parte aérea. Os cultivares, no entanto, diferiram entre si apenas no sistema radicular. Nessa parte da planta os teores de cobre foram mais reduzidos no cultivar tolerante. Trabalhando com aveia, ALAM e ADAMS (2) não encontraram diferenças significativas na parte aérea, porém nas raízes o conteúdo de cobre decresceu continuamente com o aumento do nível de alumínio na solução nutritiva. Esse efeito do alumínio tem sido interpretado como sendo conseqüência de uma competição por sítios de ligação ou adsorção comuns na superfície radicular, não havendo evidências de competição pelo mesmo transportador iônico (2, 13).

Observou-se, também, um decréscimo nos teores de manganês (Figura 5) nas duas partes da planta analisadas, contudo não foram detectadas diferenças entre os cultivares. É interessante observar que na ausência de alumínio a parte aérea do cultivar sensível apresentou teor de manganês cerca de 66% maior que o tolerante, diferença essa que desapareceu após tratamento com 2 ppm de alumínio. Isso deixa transparecer que o cultivar sensível foi mais influenciado que o tolerante, embora acima de 4 ppm o comportamento tenha se tornado semelhante. ALAM e ADAMS (2) e LEE (15) encontraram efeitos depressivos do alumínio sobre o conteúdo de manganês em aveia e batata, respectivamente. O fato levou-os a sugerirem que o alumínio compete com o manganês pelos mesmos sítios de absorção, o que resulta em menor absorção e/ou utilização desse elemento.

Fato interessante é que os teores de todos os elementos estudados, exceto o de cobre, na parte aérea, caem para níveis de insuficiência quando as plantas são



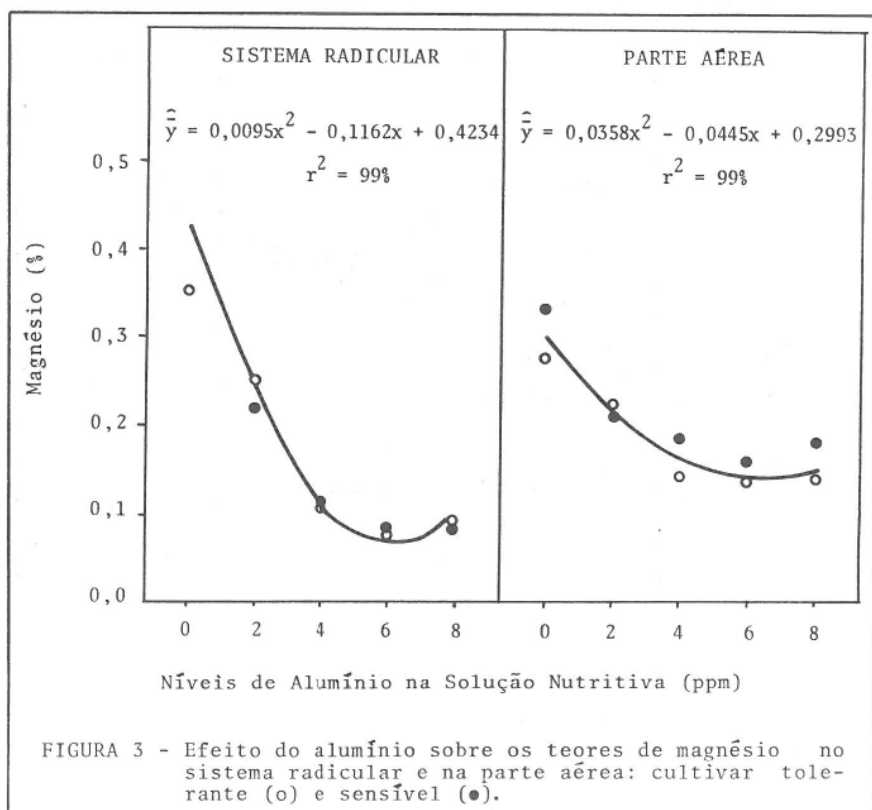
submetidas a 2 e/ou 4 ppm de alumínio. Como esses elementos estão envolvidos no processo fotossintético, sua redução a nível de deficiência implicará numa redução da taxa fotossintética (3, 4). Contudo, isso não quer dizer que o alumínio tenha apenas esse efeito indireto sobre a fotossíntese e, conseqüentemente, sobre a produção de matéria fresca.

4. RESUMO

Estudou-se neste trabalho a influência do alumínio sobre os teores de Fe, de Mg, de Mn e de Cu em dois cultivares de sorgo: um Al-tolerante (CMS x S-106) e outro Al-sensível (CMS x S-903).

A presença do alumínio causou redução nos teores de Mg, de Mn e de Cu, tanto na parte aérea quanto no sistema radicular. Não se observaram diferenças entre os cultivares, exceto com relação aos teores de Cu no sistema radicular que, no cultivar tolerante, foram significativamente mais reduzidos.

Os teores de Fe, na parte aérea, decresceram com o aumento dos níveis de alumínio, embora os cultivares não tenham diferido entre si. O valor da razão P/Fe,



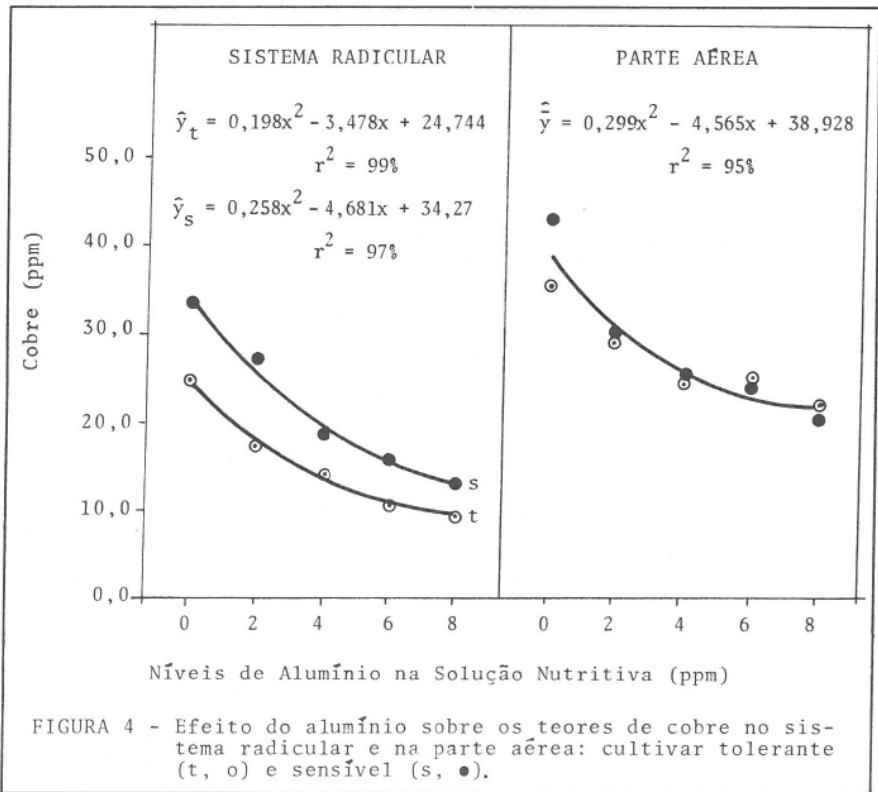
na parte aérea, cresceu com os níveis de alumínio, tendo os cultivares diferido entre si, parecendo expressar melhor os níveis de ferro nas plantas, uma vez que o cultivar sensível apresentou sintomas cloróticos mais acentuados e maiores valores dessa razão. No sistema radicular, os teores de Fe não foram alterados. Alumínio eliminou também a capacidade de as raízes reduzirem o Fe^{+3} a Fe^{+2} nos dois cultivares. Talvez seja esta uma explicação para os menores teores de Fe encontrados nas plantas tratadas com alumínio, uma vez que este íon é absorvido na forma bivalente.

A diminuição generalizada dos teores de Fe, de Mg, de Mn e de Cu, minerais envolvidos na síntese de clorofila, pode ser uma explicação para a clorose inter-nerval observada nas plantas tratadas com alumínio e deixa transparecer possíveis efeitos sobre o aparelho fotossintético.

5. SUMMARY

The effects of aluminum (0, 2, 4, 6 and 8 ppm) on the levels of Fe, Mg, Cu and Mn were studied in two cultivars of sorghum, one Al-tolerant (CMS x S-106) and one Al-sensitive (CMS x S-903).

Aluminum reduced Mg, Cu and Mn contents in both tops and roots. The cultivars did not manifest differences except with respect to Cu in the root systems, which was more reduced in the Al-sensitive cultivar.



Iron in the leaves was also reduced by Al-treatment but the cultivars did not differ. The ratio P/Fe, however, increased in plant tops with Al-treatment and showed a better correlation with iron level in the leaves; thus, the Al-sensitive cultivar, with the higher values of this ratio, showed more intense internodal chlorosis in the leaves. Aluminum did not affect iron content in the root system, but did affect the iron reductive capacity of the roots although no difference between the cultivars was detected. It is possible that aluminum affects iron uptake by inhibiting the obligatory reduction of Fe^{+3} to Fe^{+2} .

The reduction of Fe, Mg, Mn and Cu contents in leaves, all mineral nutrients related to chlorophyll synthesis, provides an explanation for the chlorosis induced by Al-treatment and is suggestive of a possible effect of aluminum on photosynthesis.

6. LITERATURA CITADA

1. ALLAN, J.E. *The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy*. Walnut Creek, California, USA, Varian Techtron, 1969. 15 p. (Boletim 12/69).
2. ALAM, S.M. & ADAMS, W.A. Effects of aluminum on nutrient composition and yield of oats. *J. Plant Nutr.*, 1:365-375, 1979.

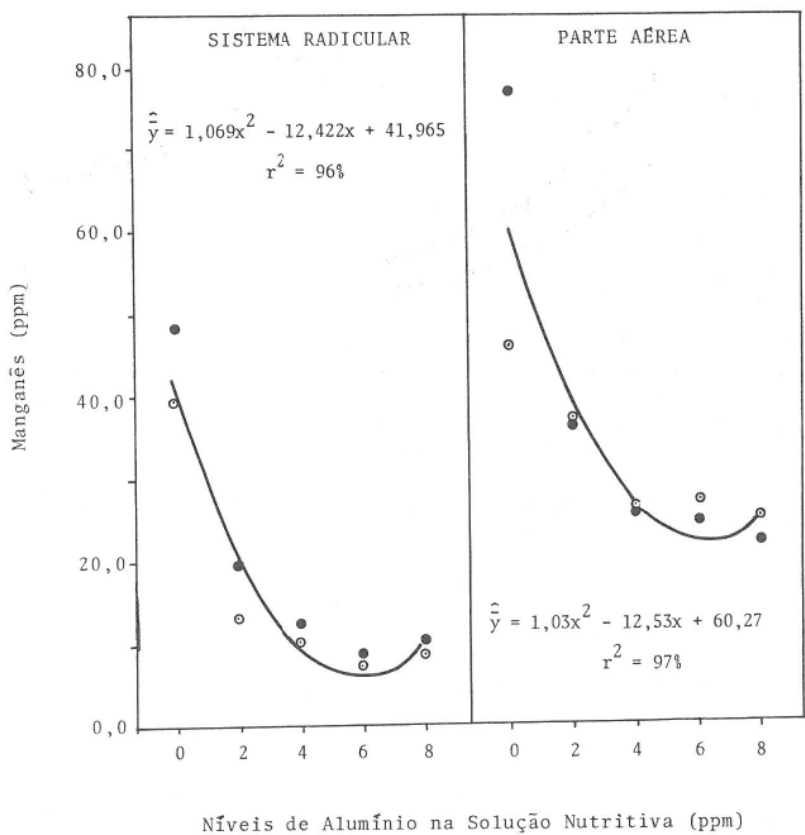


FIGURA 5 - Efeito do alumínio sobre os teores de manganês no sistema radicular e na parte aérea: cultivar tolerante (o) e sensível (●).

3. BARKER, A.V. Nutritional factors in photosynthesis of higher plants. *J. Plant Nutr.*, 1:309-342, 1979.
4. BOTTRILL, D.E., POSSINGHAN, J.V. & KRIEDMANN, P.E. The effect of nutrient deficiencies on photosynthesis and respiration in spinach. *Plant and Soil*, 33:324-348, 1970.
5. BROWN, J.C. & AMBLER, J.E. Iron-stress response in tomato (*Lycopersicon esculentum*). 1. Sites of Fe reduction, absorption and transport. *Physiol. Plant.*, 31:221-224, 1974.
6. BROWN, J.C. & JONES, W.E. Fitting plants nutritionally to soils. III — Sorghum. *Agron. J.*, 69:410-414, 1977.
7. CALBO, A.G. & CAMBRAIA, J. Efeito do alumínio sobre a composição mineral de dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Rev. Ceres*, 27: 369-378, 1980.
8. CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. *J. Agric. Food Chem.*, 23:458-460, 1975.
9. DeKOCK, P.C. Iron nutrition under conditions of stress. *J. Plant Nutr.* 3: 513-521, 1981.
10. DeKOCK, P.C., HALL, A. & INKSON, R.H.E. Active iron in plant leaves. *Ann. Bot.*, 43: 737-740, 1979.
11. FOY, C.D. Effect of aluminum on the plant growth. In: Carson, E.W. ed. *The Plant Root and its Environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p. 601-642.
12. FOY, C.D., CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 29:511-566, 1978.
13. HIATT, A.J., AMOS, D.F. & MASSEY, H.F. Effect of aluminum on copper sorption by wheat. *Agron. J.*, 55:284-287, 1963.
14. HSU, P.H. Effect of initial pH, phosphate and silicate on the determination of aluminum with aluminon. *Soil Sci.*, 96:230-238, 1973.
15. LEE, R.C. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of potatoes. *Agron. J.*, 63:604-608, 1971.
16. LINDEMAN, W. Observation on the behavior of phosphate compounds in *Chlorella* at the transition from dark to light. In: United Nations, ed. *2nd United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy*. Geneva, 1958. 24:8-15.
17. MAYNARD, D.N. Nutritional disorders of vegetable crops: a review. *J. Plant Nutr.*, 1:1-24, 1979.
18. MUGWIRA, L.M. Growth and Ca, Mg, K and P uptake by triticale, wheat and rye at four Al levels. *J. Plant Nutr.*, 2:591-606, 1980.

19. OLMOS, J.I.L. & CAMARGO, M.C. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Ciência e Cultura*, 28:171-180. 1976.
20. OTSUKA, K. Aluminium-induced iron chlorosis. Aluminium and manganese-toxicities for plants. IV. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 16:140-abstr. 5. 1970.