

COMPORTAMENTO DO SISTEMA RADICULAR DE TRÊS CULTIVARES DE MILHO (*Zea mays* L.) NA AUSÊNCIA E NA PRESENÇA DE CÁLCIO E ALUMÍNIO *

MARIA CECÍLIA BELLO DE LIMA

Prof. Assistente do Dep. de Botânica do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Alagoas (CCbi-UFAL).

MARGARIDA AGOSTINHO LEMOS

Prof. Adjunto do Dep. de Agronomia da UFRPE. Bolsista do CNPq.

CÍCERO EDUARDO RAMALHO NETO

Prof. Assistente do Dep. de Agronomia do Centro de Ciências Agrícolas da UFAL.

Comparações entre os sistemas radiculares de plântulas de milho foram realizadas em meio aquoso, na ausência e na presença de cálcio e de alumínio, com a finalidade de detectar o grau de tolerância ao alumínio da cultivar Dentado Composto em relação à tolerância representada pela linhagem Cateto Colômbia 96/71 e à sensibilidade representada pela linhagem Cateto Al 20268. Foram avaliados os seguintes parâmetros: aprofundamento da raiz principal na solução, número de raízes seminais, comprimento total das raízes seminais distendidas e variação no pH da solução. Os resultados demonstraram a tolerância e a sensibilidade reconhecidamente atribuídas às linhagens Cateto Colômbia 96/71 e Cateto Al 20268, respectivamente, bem como características de tolerância intermediária representadas pela cultivar Dentado Composto.

INTRODUÇÃO

O milho, uma das principais culturas em muitos países, é exigente quanto às condições químicas e físicas do solo. A pre-

* Parte da Dissertação apresentada pelo primeiro autor ao Curso de Mestrado em Botânica da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

sença de íons livres de alumínio provoca uma série de prejuízos, principalmente no sistema radicular reduzindo a produtividade das plantas.

FOY (1974) demonstra através de sua pesquisa que a falta de raízes profundas e bem ramificadas, decorrente da toxidez do alumínio, pode se constituir em um sério problema para a planta com relação ao aproveitamento da água e dos nutrientes do solo e afirma que a correção da toxidez pode ser feita mediante a aplicação de calcário.

PRIMAVESI (1982) comenta que a calagem é recomendável no que se refere à elevação do pH e, conseqüentemente, a insolubilização do alumínio, com o objetivo de eliminar ou amenizar a toxidez deste elemento nas raízes e partes aéreas das plantas, suprimindo-se adequadamente de nutrientes através de manutenção da concentração de bases trocáveis que sejam favoráveis, tais como o cálcio e o magnésio. FOY (1976a) considera que a correção de acidez pela aplicação de cálcio na parte arável do solo não corrige a acidez do subsolo e que calagens a maiores profundidades no solo não é facilmente praticável. OLMS & CAMARGO (1976) ressaltam ser inexequível a correção do subsolo pelas técnicas utilizadas e consideram que a solução mais eficaz para superar os prejuízos decorrentes da toxidez do alumínio está na conjunção da correção do solo com o melhoramento de plantas visando a tolerância ao alumínio.

SILVA (1976) comenta que, no Brasil, o melhoramento genético para a resistência ao alumínio que vem sendo obtido em trigo pode ser aplicado com sucesso em outras culturas que também dispõem de variação genética como é o caso do milho, feijão, soja, algodão e alfafa.

Trabalhos desenvolvidos por BAHIA FILHO et alii (1976) mostram a existência da variabilidade genética no milho para altos valores de saturação de alumínio. NASPOLINI FILHO et alii (1981) apresentam resultados da obtenção de híbridos de milho mais estáveis em solos sob vegetação de cerrado, produtivos e tolerantes ao alumínio trocável.

Muitos pesquisadores vem ultimamente idealizando métodos com o objetivo de facilitar e aprimorar as investigações sobre a toxidez do alumínio envolvendo, de um modo geral, experimentos em casa de vegetação com vasos contendo solo ou solução nutritiva e ensaios de campo.

KERRIDGE et alii (1971) comentam a dificuldade em se considerar o alumínio como um fator tóxico para o desenvolvimento de plantas nas investigações realizadas em campo, devido às interferências produzidas pela toxidez de outros íons como o hidrogênio e o manganês, e às deficiências de nutrientes, particularmente cálcio e fósforo. FOY et alii (1965) consideram que, devido às plantas diferirem geneticamente em seus hábitos de crescimento, a tolerância ao alumínio é mais precisamente avaliada, de um modo geral, quando se compara o desenvolvimento de plantas em presença de alumínio com aquele verificado na ausência de alumínio. De acordo com FOY et alii (1974), LAFFERTY et alii (1977) e MUGWIRA (1981), resultados de experimentos sobre a toxidez de alumínio realizados em laboratório são comparáveis, de um modo geral, com aqueles obtidos de ensaios em campo.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram estudadas três cultivares de milho: linhagem Cateto Colombia 96/71, tolerante ao alumínio, linhagem Cateto Al 20268, sensível ao alumínio e Dentado Composto.

O experimento foi realizado em laboratório que oferecia condições de luminosidade e temperatura favorável para um bom desenvolvimento das plântulas.

As sementes das cultivares estudadas foram pré-germinadas e selecionadas em placas de Petri, sendo as plântulas aí desenvolvidas transplantadas, após 48 horas da germinação, para copos de plásticos contendo areia de rio lavada, acoplados a provetas de 500 ml onde se desenvolveram os sistemas radiculares das plântulas em meio aquoso aerado artificialmente através de bombas de ar, sem cálcio nem alumínio, e em meio aquoso no qual 20,0 mg de cálcio e 3,0 mg de alumínio foram adicionados como sulfato.

Foi medido por dez dias, a partir do dia do transplante, o aprofundamento da raiz principal na solução e descrito o aspecto morfológico externo do sistema radicular. No décimo dia de observação o experimento foi desmontado e foi analisado em cada plântula o número de raízes seminais, o comprimento total das raízes seminais distendidas e o pH da solução em cada recipiente.

Foi empregado o delineamento experimental fatorial 3x2 em blocos ao acaso com sete repetições. Para todos os parâmetros investigados foram obtidas análises de variância e empregado o teste de Tukey nos casos de significância estatística.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aprofundamento da Raiz Principal na Solução

Em todos os tratamentos o aprofundamento da raiz principal na solução foi de, aproximadamente, 2,0 a 4,0 cm nas primeiras 48 horas de observação. A partir do terceiro dia, a raiz principal da linhagem Cateto Al 20268, sensível ao alumínio, não mais se aprofundou na solução. A raiz principal da linhagem Cateto Colombia 96/71, tolerante ao alumínio, aprofundou-se normalmente na solução, enquanto que, a partir do terceiro dia a raiz principal de quase todos os indivíduos da cultivar Dentado Composto iniciaram um processo de curvamento, tal como foi verificado em sorgo por FERNANDES & LIRA (1980) e como pode ser observado na figura 1.

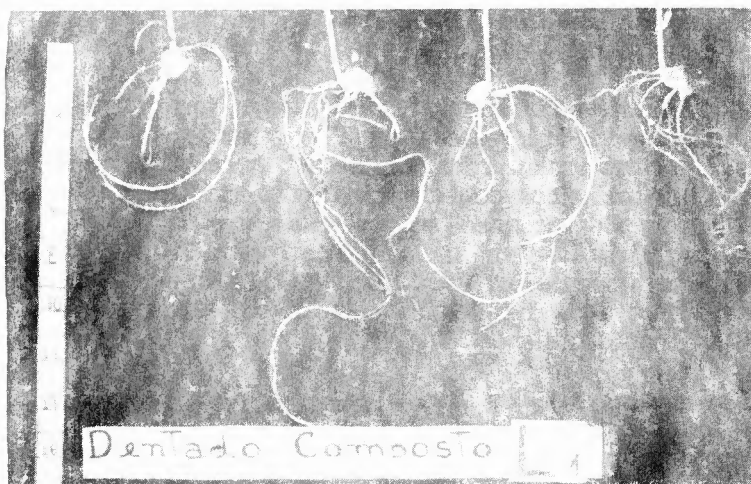


Figura 1 — Aspecto morfológico externo do sistema radicular da cultivar Dentado Composto em meio aquoso contendo Ca (20,0 mg) e Al (3,0 mg)

Nas tabelas 1 e 2 encontram-se os resultados sobre o aprofundamento da raiz principal na solução. Na tabela 2 observa-se que no tratamento sem alumínio, a linhagem Cateto Colombia 96/71, tolerante ao alumínio não diferia estatisticamente da cultivar Dentado Composto, enquanto que a linhagem Cateto Al 20268 sensível ao alumínio, diferiu significativamente de ambas, demonstrando um menor poder de aprofundamento de sua raiz principal em condições normais, o que, segundo FOY (1976b) decorreu de características geneticamente controladas.

Por outro lado, no tratamento com alumínio as três cultivares apresentaram diferenças marcantes entre si, onde a linhagem Cateto Colombia 96/71, tolerante ao alumínio aprofundou normalmente sua raiz principal na solução, enquanto que a linhagem Cateto Al 20268, sensível ao alumínio, e a cultivar Dentado Composto evidenciaram um decréscimo marcante no poder de aprofundamento da raiz principal na solução, sendo a linhagem Cateto Colombia 96/71, tolerante ao alumínio, aprofundou cada que a cultivar Dentado Composto a qual apresentou tolerância intermediária em relação às linhagens estudadas.

Tabela 1 — Análise da variância sobre o aprofundamento da raiz principal de três cultivares de milho em meio aquoso, na ausência e na presença de Ca e Al. Experimento fatorial 3 x 2 em blocos ao acaso com sete repetições. Recife, 1984

FV	GL	SQ	QM	F
Cultivares sem Ca e Al	2	26,299	13,149	57,925**
Cultivares com Ca e Al	2	210,736	105,363	464,176**
Cultivares sem Ca e Al versus com Ca e Al	1	123,943	123,943	456,004**
Tratamentos	(5)	360,978	72,196	318,044**
Blocos	6	7,519	1,253	—
Resíduo	30	6,807	0,227	—
Total	41	375,304	—	—
C. V.	5,9%			
d.m.s.	0,628			

Tabela 2 — Médias relativas ao aprofundamento da raiz principal de três cultivares de milho em meio aquoso, na ausência e na presença de Ca e Al. Experimento fatorial 3 x 2 em blocos ao acaso com sete repetições. Recife, 1984

Aprofundamento da raiz principal na solução (cm)			
Cultivares sem Ca e Al		Cultivares com Ca e Al	%
Cateto Colombia 96/71	10,414 a	Cateto Colombia 96/71	10,054 a
Cateto Al 20268	8,220 b	Cateto Al 20268	2,317 c
Dentado Composto	10,740 a	Dentado Composto	6,696 b
Média	9,791	Média	6,356
			62,36

Número de Raízes Seminais

Através da análise das tabelas 3 e 4 ficou comprovado que no tratamento sem alumínio a linhagem Cateto Colombia 96/71, tolerante ao alumínio, não diferiu significativamente da cultivar Dentado Composto, enquanto que a cultivar Cateto Al 20268, sensível ao alumínio, diferiu significativamente de ambas, demonstrando um menor poder de desenvolvimento do sistema radicular em condições normais o que, segundo FOY (1976a), decorreu de características geneticamente controladas. Por outro lado, no tratamento com alumínio, apesar da linhagem Cateto Al 20268, sensível ao alumínio, e da cultivar Dentado Composto terem desenvolvido um maior número de raízes seminais em relação à linhagem Cateto Colombia 96/71, tolerante ao alumínio, as diferenças entre elas não evidenciaram significância estatística.

Tabela 3 — Análise da variância sobre o número total de raízes seminais de três cultivares de milho em meio aquoso, na ausência e na presença de Ca e Al. Experimento fatorial 3x2 em blocos ao acaso com sete repetições. Recife, 1984

FV	GL	SQ	QM	F
Cultivares sem Ca e Al	2	0,309	0,154	4,960**
Cultivares com Ca e Al	2	0,119	0,059	1,903n.s.
Cultivares sem Ca e Al versus com Ca e Al	1	0,486	0,486	15,677**
Tratamentos	(5)	0,914	0,183	5,903**
Blocos	6	0,169	0,028	—
Resíduo	30	0,917	0,031	—
Total	41	2,000	—	—
C. V.	6,1%			
d.m.s.	0,232			

Tabela 4 — Médias relativas ao número total de raízes seminais de três cultivares de milho em meio aquoso, na ausência e na presença de Ca e Al. Experimento fatorial 3 x 2 em blocos ao acaso com sete repetições. Recife, 1984

Número total de raízes seminais				
Cultivares sem Ca e Al		Cultivares com Ca e Al		%
Cateto Colombia 96/71	2,899 a	Cateto Colombia 96/71	2,874	99,14
Cateto Al 20268	2,611 b	Cateto Al 20268	3,022	115,74'
Dentado Composto	2,820 a	Dentado Composto	3,054	108,30
Média	2,776	Média	2,980	107,72

Comprimento Total das Raízes Seminais Destendidas

Nas tabelas 5 e 6 observa-se que no tratamento sem alumínio a linhagem Cateto Colombia 96/71, tolerante ao alumínio, não diferiu significativamente da cultivar Dentado Composto, enquanto que a linhagem Cateto Al 20268, sensível ao alumínio diferiu significativamente de ambas, demonstrando um menor poder de crescimento das raízes seminais em condições normais, o que segundo FOY (1976b), decorreu de características geneticamente controladas. Por outro lado, no tratamento sem alumínio as três cultivares apresentaram diferenças marcantes entre si, onde a linhagem tolerante ao alumínio, apresentou um comprimento normal de suas raízes seminais, enquanto que a linhagem sensível ao alumínio e a cultivar Dentado Composto, evidenciaram um decréscimo marcante nos comprimentos de suas raízes seminais, sendo esse decréscimo maior na linhagem sensível ao alumínio. Resultados obtidos por RUTH & GROGAN (1976) mostram que na presença de alumínio é sempre verificada uma interrupção precoce do crescimento das raízes seminais, em decorrência de desarranjos nos tecidos epidérmico, cortical e meristemático.

Tabela 5 — Análise da variância sobre o comprimento total das raízes seminais distendidas de três cultivares de milho em meio aquoso, na ausência e na presença de Ca e Al. Experimento fatorial 3 x 2 em blocos ao acaso com sete repetições. Recife, 1984

FV	GL	SQ	QM	F
Cultivares sem Ca e Al	2	2090,500	1045,250	19,320**
Cultivares com Ca e Al	2	15760,158	7880,079	145,652**
Cultivares sem Ca e Al versus com Ca e Al	1	17202,380	17202,380	317,962**
Tratamentos	(5)	35053,038	7010,608	129,581**
Blocos	6	1035,539	172,590	—
Resíduo	30	1613,072	54,102	—
Total	41	37711,649	—	—

C.V. 10,2%
d.m.s. 9,7

Tabela 6 — Médias relativas ao comprimento total das raízes seminais distendidas de três cultivares de milho em meio aquoso, na ausência e na presença de Ca e Al. Experimento fatorial 3 x 2 em blocos ao acaso com sete repetições. Recife, 1984

Comprimento total das raízes seminais distendidas (cm)					
Cultivares sem Ca e Al			Cultivares com Ca e Al		%
Cateto Colombia 96/71	97,577 a		Cateto Colombia 96/71	85,629 a	87,76
Cateto Al 20268	78,329 b		Cateto Al 20268	18,529 c	23,66
Dentado Composto	101,171 a		Dentado Composto	51,471 b	50,87
Média	92,352		Média	51,876	54,09

Variação do pH Final da Solução

Nas tabelas 7 e 8 nota-se que no tratamento sem alumínio nenhuma alteração do pH da solução no final da experimentação foi significativamente evidenciada entre os indivíduos investigados. Por outro lado, no tratamento com alumínio, diferenças significativas estatisticamente foram observadas entre as cultivares testadas onde plântulas da linhagem tolerante ao alumínio promoveram um aumento no pH final da solução, enquanto que as plântulas da linhagem sensível ao alumínio e as da cultivar Dentado Composto mantiveram ou promoveram um certo decréscimo no valor do pH. Este decréscimo foi menor na cultivar Dentado Composto, que mais uma vez demonstrou sua posição de tolerância intermediária com relação às linhagens testadas. Segundo os experimentos de FOY et alii (1967) com trigo, evidenciou-se que, de um modo geral, plantas tolerantes ao alumínio tendem a promover aumentos no valor do pH do substrato a fim de insolubilizar o alumínio, ao passo que plantas sensíveis tendem a diminuir ou manter o valor do pH.

Tabela 7 — Análise da variância sobre a variação no pH final da solução provocada por três cultivares de milho em meio aquoso, na ausência e na presença de Ca e Al. Experimento fatorial 3 x 2 em blocos ao acaso com sete repetições. Recife, 1982

FV	GL	SQ	QM	F
Cultivares sem Ca e Al	2	0,004	0,002	0,222 n.s.
Cultivares com Ca e Al	2	0,960	0,480	53,333**
Cultivares sem Ca e Al versus com Ca e Al	1	0,004	0,004	0,444 n.s.
Tratamentos	(5)	0,968	0,194	21,556**
Blocos	6	0,065	0,011	—
Resíduo	30	0,272	0,009	—
Total	41	1,305	—	—
			C.V.	2,1%
			d.m.s	0,125

Tabela 8 — Médias relativas a variação no pH final da solução provocada por três cultivares de milho em meio aquoso, na ausência e na presença de Ca e Al. Experimento fatorial 3 x 2 em blocos ao acaso com sete repetições. Recife, 1982

Variação no pH final da solução			
Cultivares sem Ca e Al		Cultivares com Ca e Al	
Cateto Colombia 96/71	4,50 a	Cateto Colombia 96/71	4,81 a
Cateto Al 20268	4,50 a	Cateto Al 20268	4,30 a
Dentado Composto	4,52 a	Dentado Composto	4,47 b
Média	4,506	Média	4,526

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

- a) a cultivar Dentado Composto apresentou comportamentos intermediários relativos à tolerância ao alumínio, quando comparados com aqueles verificados para a linhagem tolerante Cateto Colombia 96/71, e para a linhagem sensível Cateto Al 20268, considerando-se características como o aprofundamento da raiz principal na solução, número de raízes seminais, comprimento total das raízes seminais distendidas e alteração do pH da solução;
- b) nas condições em que este trabalho foi desenvolvido constatou-se que a cultivar Dentado Composto oferece condições para a seleção de plantas tolerantes ao alumínio.

ABSTRACT

The degree of tolerance to aluminum of the corn variety "Dentado Composto" was related to a tolerant variety "Cateto Colombia 96/71" and a susceptible one

"Cateto AI 20268", by comparing the growth of their root systems in aqueous media with and without calcium and aluminum. The following parameters were studied: depth of the main root in solution, number and total length of seminal roots and pH variations in the solution. "Dentado Composto" showed intermediate tolerance compared to "Cateto Colombia 96/71" and "Cateto AI 20268", which demonstrated their respective tolerance and susceptibility.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 — BAHIA FILHO, A. F. C.; FRANÇA, G. E. de; PITTA, G. V. E.; MAGNAVACA, R.; MENDES, J. F.; BAHIA, F. G. F. T. C.; PEREIRA, P. Avaliação de linhagens e populações de milho em condições de elevada acidez. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 11., Piracicaba, 1976. *Anais...* Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, 1976. p. 51-8.
- 2 — FERNANDES, C. S. & LIRA, M. A. de. Tolerância do sorgo ao alumínio. In: REUNIÃO BRASILEIRA DO MILHO E SORGO, 13., Londrina, 1980. *Coletânea de resumos*. Londrina, IPAR, 1980. p. 127.
- 3 — FOY, C. D. Differential aluminum and manganese tolerances of plants species and varieties in acid soils. *Ciência e Cultura*, São Paulo, 28(2):150-5, fev. 1976a.
- 4 — —. Effects of soil calcium availability on plant growth. In: CAPSON, E. W., ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. cap. 19, p. 565-600.
- 5 — —. General principles involved in screening plants for aluminum and manganese tolerance. In: WRIGHT, M. J., ed. *Proceedings of a workshop on plant adaptation to mineral stress in problem soils*. Ithaca, Cornell University, 1976b. cap. 5, p. 255-67.
- 6 — —; BURNS, G. R.; BROWN, J. C.; FLEMING, A. L. Differential aluminum tolerance of two wheat varieties associated with plant — Induced pH changes around their roots. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 29(1):64-7, Jan./Feb. 1965.
- 7 — —; FLEMING, A. L.; BURNS, G. R.; ARMIGER, W. H. Characterization of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and barley. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 31(4):513-21, July/Aug. 1967.
- 8 — —; LAFEVER, H. N.; SCHWARTZ, J. W.; FLEMING, A. L. Aluminum tolerance of wheat cultivars related to region of origin. *Agronomy Journal*, Madison, 66(6):751-8, Nov./Dec. 1974.
- 9 — KERRIDGE, P. C.; DAWSON, M. D.; MOORE, D. P. Separation of degrees of aluminum tolerance in wheat. *Agronomy Journal*, Madison, 63(4):568-91, July/Aug. 1971.

- 10 — LAFEVER, H. N.; CAMPBELL, L. G.; FOY, C. D. Differential response of wheat cultivars to Al. *Agronomy Journal*, Madison, 69(4):563-8. May/June, 1977.
- 11 — MUGWIRA, L. M.; SAPRA, V. T.; PATEL, S. U.; CHOUDRY, M. A. Aluminum tolerance of triticale and wheat cultivars developed in different regions. *Agronomy Journal*, Madison, 73(3):470-5, May/June, 1981.
- 12 — NASPOLINI FILHO, V.; BAHIA FILHO, A. F. C.; VIANNA, R. T. GAMA, E. E. G.; VASCONCELLOS, C. A.; MAGNAVACA, R. Comportamento de linhagens e de híbridos simples de milho (*Zea mays* L.) em solos sob vegetação de cerrado. *Ciência e Cultura*, São Paulo, 33(5):722-7, maio, 1981.
- 13 — OLMS, I. L. J. & CAMARGO, M. N. Incidence of aluminum toxicity in Brazilian soils: its characterization and distribution. *Ciência e Cultura*, São Paulo, 28(2):171-80, fev. 1976.
- 14 — PRIMAVESI, A. *Manejo ecológico do solo; agricultura em regiões tropicais*. 4. ed. São Paulo, Nobel, 1982. 541 p.
- 15 — RHUE, R. D. & GROGAN, C. D. Screaming corn for aluminum tolerance. In: WRIGHT, M. J., ed. *Proceedings of a workshop on plant adaptation to mineral stress in problem soils*. Ithaca, Cornell University, 1976. cap. 5, p. 297-310.
- 16 — SILVA, A. R. da. Melhoramento genético para a resistência a toxidez de alumínio e manganês no Brasil: antecedentes, necessidades e possibilidades. Tópicos para discussão e pesquisa. *Ciência e Cultura*, São Paulo, 28(2):147-9, fev. 1976.

Recebido para publicação em 15 de agosto de 1986

AGRADECIMENTOS

Agradecimento são devidos ao Dr. Clóvis Silva Fernandes pelas valiosas sugestões na execução desta pesquisa e ao Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo — EMBRAPA pelo fornecimento das sementes das linhagens aqui estudadas.