

TRIGO: TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA (1)

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA CAMARGO (2, 3), JOÃO CARLOS FELÍCIO (2, 3)
e LAÉRCIO SOARES ROCHA JÚNIOR (2)

RESUMO

Foi estudado o comportamento diferencial de 21 cultivares de trigo em soluções nutritivas, com arejamento, contendo seis concentrações de Al^{3+} (0, 2, 4, 6, 8 e 10 mg/litro), à temperatura constante de $25 \pm 1^\circ C$, e pH 4,0. A tolerância foi medida pela capacidade de as raízes primárias continuarem a crescer em solução sem alumínio, após 48 horas em solução contendo uma concentração conhecida de alumínio. Os cultivares BH-1146, IAC-18, IAC-28, IAC-5, IAC-74, IAC-13, PAT-72247, IAC-22, BR-2, IAC-21 e IAC-24 foram considerados como tolerantes por exibir crescimento da raiz primária central após tratamento em solução contendo 10 mg/litro de Al^{3+} ; os cultivares IAC-17, IAC-161, Mitacoré e CEP-7780 mostraram reação de média tolerância ao Al^{3+} , por apresentar crescimento da raiz primária central após tratamento em soluções contendo 6 mg/litro de Al^{3+} ; os cultivares CNT-8, Alondra S-46, IAC-162, Paraguay-281 e IAC-23 foram considerados sensíveis ao Al^{3+} , por mostrar crescimento das raízes primárias após tratamento em soluções contendo 2 mg/litro de Al^{3+} , e o 'Anahuac' demonstrou-se muito sensível ao Al^{3+} , não exibindo crescimento das raízes primárias após tratamento em soluções contendo 2 mg/litro de Al^{3+} .

Termos de indexação: trigo, cultivares tolerantes e sensíveis, crescimento das raízes, soluções nutritivas, alumínio, toxicidade.

(1) Com recursos complementares do Acordo do Trigo entre as Cooperativas de Produtores Rurais do Vale do Paranapanema e a Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, por meio do Instituto Agrônomico. Trabalho apresentado na XIV Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo, Londrina (PR), julho de 1986. Recebido para publicação em 20 de agosto de 1986.

(2) Seção de Arroz e Cereais de Inverno, Instituto Agrônomico (IAC), Caixa Postal 28, 13001 Campinas (SP).

(3) Com bolsa de suplementação do CNPq.

1. INTRODUÇÃO

Grandes áreas dos solos brasileiros são ácidas. Tais solos contêm alumínio solúvel ou trocável que inibem o crescimento das raízes da maioria das variedades de trigo, resultando em reduzido perfilhamento das plantas e baixa produtividade.

O uso de soluções nutritivas contendo alumínio foi preconizado por MOORE et al. (1976) para diferenciar cultivares de trigo quanto à tolerância a esse elemento, uma vez que os solos ácidos, além do alumínio, podem apresentar teores tóxicos de ferro e manganês.

O trigo é uma espécie bastante sensível ao Al^{3+} , porém CAMARGO & OLIVEIRA (1981), estudando dez cultivares em soluções nutritivas mostraram que 'Siete Cerros' e 'Tobari-66' foram sensíveis a 1 e 3 mg/litro de Al^{3+} ; 'Alondra-S-46', 'Alondra-S-45' e 'IAC-17', sensíveis a 6 mg/litro de Al^{3+} , e 'BH-1146', 'IAC-5', 'IAC-18' e 'Londrina', tolerantes a 10 mg/litro de Al^{3+} . Esses resultados foram confirmados também na presença de solo ácido contendo Al^{3+} . CAMARGO & FELÍCIO (1984) verificaram que os cultivares de centeio Branco e Goyarowo apresentaram-se tolerantes a 20 mg/litro de Al^{3+} , enquanto diferentes cultivares de trigo e triticale mostraram-se sensíveis a 10 mg/litro de Al^{3+} na solução nutritiva. CAMARGO et al. (1984) observaram que os cultivares de arroz IAC-435, IAC-120, IAC-164, IAC-165, Pérola, Blue Bonnet, IAC-47 e IAC-25 mostraram-se tolerantes à presença de 20 mg/litro de Al^{3+} nas soluções. Daí concluir-se que arroz e centeio são mais tolerantes do que trigo em relação à toxicidade ao Al^{3+} .

CAMARGO (1981) demonstrou que a tolerância do trigo 'BH-1146' é devida a um par de genes dominantes em cruzamentos desse cultivar com os cultivares sensíveis Tordo e Siete Cerros. Posteriormente, LAGOS et al. (1984), estudando plantas monossômicas ($2n = 41$) de linhas aneuplóides e normais ($2n = 42$) do genótipo Chinese Spring, identificadas citologicamente, as quais foram cruzadas com o 'BH-1146', concluíram que o gene de tolerância ao Al^{3+} nesse cultivar está localizado no cromossomo 4D.

Uma das principais metas do programa de melhoramento genético do trigo no Instituto Agrônomo é a seleção de novos cultivares de porte baixo, porém com tolerância à toxicidade de alumínio, a partir de cruzamentos entre cultivares brasileiros (altos e tolerantes) e mexicanos (baixos, sensíveis ao Al^{3+} e com alto potencial produtivo).

O presente trabalho teve por objetivo identificar os cultivares tolerantes ao Al^{3+} para cultivo em solos ácidos e/ou as melhores fontes de tolerância para usar no programa de melhoramento genético.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os cultivares de trigo estudados foram divididos em dois grupos, a saber: (a) porte alto: BH-1146, CNT-8, IAC-18, IAC-28, IAC-5, IAC-74, IAC-13, IAC-17, PAT-72247, IAC-22, Mitacoré, IAC-23, IAC-21, BR-2, CEP-7780, e (b) porte baixo: Alondra-S-46, IAC-162, IAC-161, Anahuac, Paraguay-281 e IAC-24.

As plântulas dos 21 cultivares foram testadas em soluções nutritivas de tratamento contendo 0, 2, 4, 6, 8 e 10 mg/litro de Al^{3+} , conforme método de CAMARGO & OLIVEIRA (1981).

O delineamento estatístico foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas: as parcelas eram compostas por seis concentrações de alumínio e, as subparcelas, pelos cultivares de trigo, efetuando-se duas repetições para cada uma das soluções de tratamento.

Os dados de crescimento das raízes foram analisados estatisticamente, considerando-se a média das vinte plântulas de cada cultivar após a influência prejudicial do alumínio nas diferentes soluções. A comparação entre as médias de crescimento da raiz dos 21 cultivares, dentro de uma mesma concentração de alumínio, e a comparação entre as médias de crescimento da raiz de um mesmo cultivar, em diferentes concentrações de alumínio, foram feitas pelo teste de Tukey.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise estatística (Quadro 1) mostraram, pelo teste F, efeitos altamente significativos de concentrações de Al^{3+} , cultivares e interações cultivares x concentrações de Al^{3+} .

O comprimento médio das raízes dos 21 cultivares de trigo, medido após 72 horas de crescimento nas soluções nutritivas completas depois de 48 horas de crescimento nas soluções de tratamento contendo seis diferentes concentrações de alumínio (0, 2, 4, 6, 8 e 10 mg/litro) encontram-se no quadro 2.

Considerando-se as médias dos diferentes cultivares estudados em soluções de tratamento com ausência de Al^{3+} , verifica-se que o 'BH-1146' mostrou as raízes mais compridas, diferindo, pelo teste de Tukey ao nível de 5%, dos demais cultivares, à exceção do 'IAC-18', 'IAC-74' e 'PAT-72247'. Essas observações confirmam resultados de CAMARGO & OLIVEIRA (1981), e CAMARGO & FREITAS (1985): em uma solução com níveis adequados de nutrientes, na ausência de alumínio, com pH 4,0, o 'BH-1146' apresentou o seu potencial genético no crescimento rápido das raízes, condição essa específica de cada genótipo.

Nas soluções de tratamento contendo Al^{3+} , todos os cultivares reduziram o crescimento radicular em relação ao das soluções de tratamento contendo 0 mg/litro de Al^{3+} . O 'Anahuac' revelou-se sensível ao Al^{3+} (Figura 1), uma vez que suas raízes primárias não continuaram a crescer em solução sem alumínio, após um período de 48 horas em solução de tratamento contendo 2 mg/litro de Al^{3+} .

QUADRO 1. Análise da variância para crescimento da raiz de 21 cultivares de trigo estudados em soluções nutritivas de tratamento contendo seis diferentes concentrações de alumínio

Causas de variação	G.L.	Q.M.
Repetições	1	435,82
Concentrações de Al^{3+}	5	20946,69**
Erro I	5	778,11
Cultivares	20	1293,27**
Cultivares x concentrações de Al^{3+}	100	109,29**
Erro II	120	22,94
Total	251	

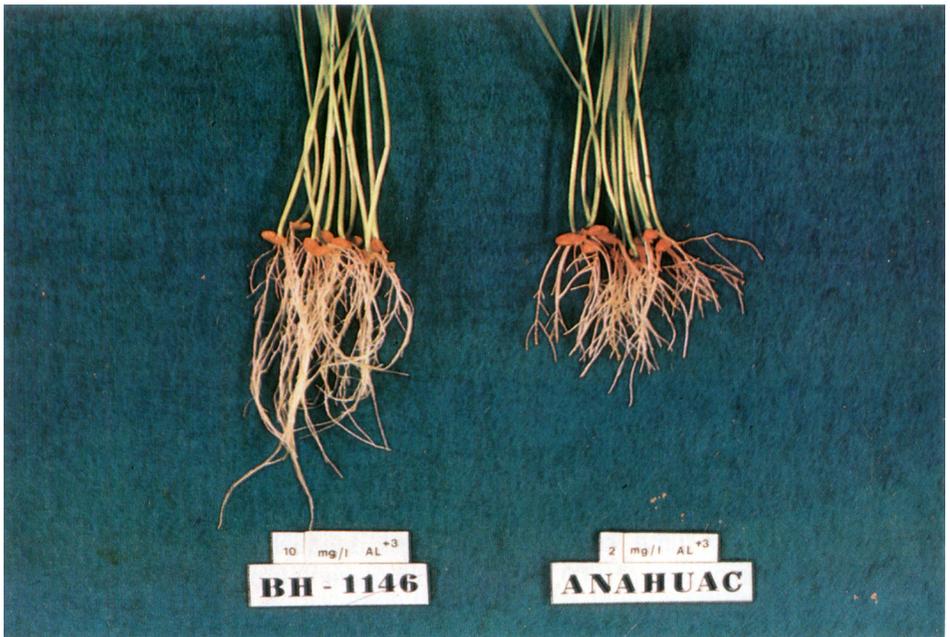


FIGURA 1. Sistemas radiculares dos cultivares de trigo BH-1146 e Anahuac após 72 horas de crescimento nas soluções nutritivas completas, seguido a crescimento de 48 horas respectivamente, em soluções de tratamento contendo 10 e 2 mg/litro de Al^{3+} .

QUADRO 2. Comprimento médio das raízes de 21 cultivares de trigo, medido após 72 horas de crescimento nas soluções nutritivas completas, seguido a crescimento de 48 horas nas soluções de tratamento contendo seis diferentes concentrações de alumínio

Cultivares	Concentrações de alumínio nas soluções de tratamento (mg/litro)					
	0	2	4	6	8	10
	mm					
BH-1146	95,1a	62,6a	48,0a	40,3a	32,6a	26,6a
IAC-18	84,0ab	57,3ab	44,1ab	36,6ab	21,5ab	16,9ab
IAC-28	69,1bcd	39,2abcdef	36,4abcd	31,3abc	23,1ab	16,6ab
IAC-13	58,9bcde	37,5abcdef	26,5abcde	12,0bcde	3,6b	6,7ab
PAT-72247	75,2abcd	44,1abcdef	27,1abcde	26,4abcd	9,1ab	4,2ab
IAC-21	42,6e	24,9defgh	27,4abcde	19,2abcde	9,9ab	3,8ab
IAC-24	50,8de	34,4bcdefg	34,5abcd	29,2abcd	14,1ab	3,7ab
IAC-74	82,4abc	56,4abc	40,3abc	27,6abcd	4,3b	3,6ab
IAC-22	54,2de	29,5defg	23,9abcdef	12,8bcde	2,3b	2,9ab
IAC-5	52,2de	30,8defg	22,5bcdef	23,0abcde	6,5b	2,5ab
BR-2	60,6bcde	33,7bcdefg	29,2abcde	12,3bcde	3,5b	2,5ab
IAC-17	66,5bcde	46,2abcde	29,1abcde	11,5bcde	0,0b	0,0b
IAC-161	63,4bcde	41,0abcdef	18,7cdef	9,5cde	0,0b	0,0b
Mitacoré	64,1bcde	35,6bcdefg	25,0abcdef	7,2cde	0,2b	0,0b
CEP-7780	68,4bcde	46,7abcd	14,0def	4,5de	0,0b	0,0b
IAC-23	56,9de	26,6defg	12,8def	0,0e	0,0b	0,0b
IAC-162	65,5bcde	31,3cdefg	4,7ef	0,0e	0,0b	0,0b
Alondra-S-46	50,7de	21,0efgh	0,0f	0,0e	0,0b	0,0b
CNT-8	64,5bcde	19,9fgh	0,0f	0,0e	0,0b	0,0b
Paraguay-281	51,1de	12,1gh	0,0f	0,0e	0,0b	0,0b
Anahuac	62,3bcde	0,0h	0,0f	0,0e	0,0b	0,0b
D.M.S.(¹)	25,2					
D.M.S.(²)	17,5					

(¹) Diferença mínima significativa ao nível de 5% para a comparação das médias dos cultivares de trigo dentro de uma mesma concentração de alumínio. Os cultivares seguidos de uma letra comum dentro de uma mesma concentração de alumínio não diferem entre si.

(²) Diferença mínima significativa ao nível de 5% para a comparação de cada cultivar de trigo nas concentrações de alumínio.

Os demais cultivares exibiram crescimento das raízes primárias e foram considerados tolerantes a essa concentração de Al^{3+} . O 'BH-1146' exibiu as raízes mais compridas, diferindo dos demais, com exceção dos cultivares IAC-18, IAC-28, IAC-74, IAC-13, IAC-17, PAT-72247, IAC-161 e CEP 7780.

Os cultivares CNT-8, Alondra-S-46 e Paraguay-281 foram totalmente sensíveis a 4 mg/litro de Al^{3+} , isto é, apresentaram paralisação irreversível no crescimento das raízes após permanecerem 48 horas nas soluções desse tratamento. Nessas condições, o 'BH-1146' apresentou as raízes mais compridas, diferindo dos demais, com exceção do IAC-18, IAC-28, IAC-74, IAC-13, IAC-17, PAT-72247, IAC-22, Mitacoré, BR-2, IAC-21 e IAC-24.

Os cultivares IAC-162 e IAC-23 foram totalmente sensíveis a 6 mg/litro de Al^{3+} e o 'BH-1146' exibiu as raízes mais compridas, somente não diferindo significativamente dos cultivares IAC-18, IAC-28, IAC-24, IAC-74, PAT-72247, IAC-5 e IAC-21.

Os cultivares IAC-17, IAC-161 e CEP-7780 exibiram total sensibilidade ao alumínio a 8 mg/litro de Al^{3+} . Nessas condições, novamente o 'BH-1146' mostrou o maior crescimento radicular, só não diferindo dos cultivares IAC-28, IAC-18, IAC-24, IAC-21 e PAT-72247.

A 10 mg/litro de Al^{3+} , o 'Mitacoré' exibiu total sensibilidade e somente os cultivares BH-1146, IAC-18, IAC-28, IAC-13, PAT-72247, IAC-21, IAC-24, IAC-74, IAC-22, IAC-5 e BR-2 apresentaram reações de tolerância (Figura 1 e Quadro 2), sendo, portanto, fontes de tolerância à toxicidade de alumínio a utilizar nos programas de melhoramento genético, onde esta característica for desejada.

Seria de grande importância incorporar ao 'Anahuac', pelo método do retrocruzamento, o fator genético de tolerância ao alumínio visando a seu cultivo sem restrição em solos ácidos, uma vez que tem exibido porte baixo e alto potencial produtivo em solos corrigidos, aliado a resistência às raças prevaletentes da ferrugem-do-colmo e da-folha (SÃO PAULO, 1985, 1986).

Seria interessante utilizar o 'IAC-24', com porte baixo e tolerância a 10 mg/litro de Al^{3+} , nos programas de cruzamentos visando transferir tolerância ao alumínio para os cultivares semi-anões mexicanos, sensíveis a alumínio. Nesse caso, haveria somente segregação para a tolerância ao alumínio nas populações híbridas, e as seleções poderiam ser efetuadas em soluções nutritivas, sem necessidade de aviação e seleção para o caráter altura das plantas.

4. CONCLUSÕES

1) Os cultivares BH-1146, IAC-18, IAC-28, IAC-13, PAT-72247, IAC-21, IAC-24, IAC-74, IAC-22, IAC-5 e BR-2 foram considerados como tolerantes por exibirem crescimento da raiz primária central após tratamento em soluções contendo 10 mg/litro de Al^{3+} .

2) Os cultivares IAC-17, IAC-161, Mitacoré e CEP 7780 mostraram reação de média tolerância ao Al^{3+} por apresentarem crescimento da raiz primária central após tratamento em soluções contendo 6 mg/litro de Al^{3+} , porém não apresentando crescimento após tratamento em soluções contendo 10 mg/litro de Al^{3+} .

3) Os cultivares CNT-8, Alondra-S-46, IAC-162, Paraguay-281 e IAC-23 foram considerados como sensíveis ao Al^{3+} por exibirem crescimento das raízes primárias após tratamento em soluções contendo 2 mg/litro de Al^{3+} , mas não crescendo após tratamento em soluções com 6 mg/litro de Al^{3+} .

4) O 'Anahuac' mostrou-se muito sensível ao Al^{3+} , não exibindo crescimento das raízes primárias após tratamento em soluções contendo 2 mg/litro de Al^{3+} .

5) Os cultivares Anahuac, Paraguay-281, CNT-8, Alondra-S-46, IAC-162, IAC-23, CEP 7780, Mitacoré, IAC-161 e IAC-17 seriam recomendados para semeadura somente em solos corrigidos sem a presença de Al^{3+} , e BH-1146, IAC-18, IAC-28, IAC-5, IAC-74, IAC-13, PAT-72247, IAC-22, BR-2, IAC-21 e IAC-24, para cultivo em solos ácidos ou corrigidos com a presença de Al^{3+} abaixo da camada arável.

SUMMARY

WHEAT: TOLERANCE TO ALUMINUM IN NUTRIENT SOLUTIONS

Twenty one wheat cultivars were studied in aerated nutrient solutions for aluminum tolerance with six different levels, 0, 2, 4, 6, 8 and 10 mg/litro of Al^{3+} , under constant temperature, $25^{\circ} \pm 1^{\circ}C$ and pH 4.0. Aluminum tolerance was evaluated by measuring the root growth in an aluminum-free complete nutrient solution after a treatment of 48 hours in an aluminum solution. The cultivars BH-1146, IAC-18, IAC-28, IAC-5, IAC-74, IAC-13, PAT-72247, IAC-22, BR-2, IAC-21 and IAC-24 were considered as tolerant because they exhibited growth of the central primary root after a treatment in solutions with 10 mg/l of Al^{3+} . However cultivars IAC-17, IAC-161, Mitacoré and CEP-7780 showed moderate tolerance to Al^{3+} because they showed growth of the central primary root after a treatment in solutions containing 6 mg/l of Al^{3+} . Moreover the cultivars CNT-8, Alondra-S-46, IAC-162, Paraguay-281 and IAC-23 were considered as sensitive to Al^{3+} because they did not present root growth after a treatment in solutions with 6 mg/l of Al^{3+} . The cultivar Anahuac did not show any root growth after a treatment in solutions containing 2 mg/l of Al^{3+} therefore being considered the most Al sensitive among the studied cultivars.

Index terms: wheat, tolerant and sensitive cultivars, root growth, nutrient solutions, aluminum toxicity.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, C.E.O. Melhoria do trigo. I. Hereditariedade da tolerância ao alumínio tóxico. *Bragantia*, Campinas, **40**:33-45, 1981.
- ; CAMARGO, O.B. & SOUZA, D.M. Diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva na tolerância de cultivares de arroz. *Bragantia*, Campinas, **43**(2):357-368, 1984.
- & FELÍCIO, J.C. Tolerância de cultivares de trigo, triticale e centeio em diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, **43**(1):9-16, 1984.
- & FREITAS, J.G. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de ferro em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, **44**(1):65-75, 1985.
- & OLIVEIRA, O.F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. *Bragantia*, Campinas, **40**:21-31, 1981.
- LAGOS, M.B.; FERNANDES, M.I.B.M.; CARVALHO, F.I.F. & CAMARGO, C.E.O. Localização do gene(s) de tolerância ao crestamento em trigo cv. BH-1146 (*Triticum aestivum* L.). In: REUNIAO NACIONAL DE PESQUISA DE TRIGO, 13., Cruz Alta, 1984. 1p.
- MOORE, D.P.; KRONSTAD, W.E. & METZGER, R.J. Screening wheat for aluminum tolerance. In: WORKSHOP ON PLANT ADAPTATION TO MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS, Beltsville, Maryland, 1976, edited by Madison J. Wright - **Proceedings**. Ithaca, Cornell University, 1976. p.287-295.
- SÃO PAULO. Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Relatórios do Acordo entre a S.A.A., através do Instituto Agrônomo, e as Cooperativas Rurais do Vale do Paranapanema. Campinas, 1985, 1986.