

A CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO NA TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE TRIGO À TOXICIDADE DE ALUMÍNIO EM SOLUÇÕES NUTRITIVAS (1)

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA CAMARGO (2,3)

RESUMO

Em dois experimentos empregando soluções nutritivas, foi estudada a tolerância de cultivares de trigo na presença de 5mg/litro de Al^{3+} , medida pela capacidade de as raízes primárias continuarem a crescer em solução nutritiva completa sem alumínio, após permanência de 48 horas em solução contendo alumínio com diferentes concentrações de fósforo, controle do pH e temperatura de $25 \pm 1^{\circ}C$. No primeiro experimento, foram estudados oito cultivares de trigo em soluções nutritivas contendo quatro níveis de fósforo (0; 15,5; 31,0 e 62,0mg/litro) combinados com três níveis de pH (4,0; 5,0 e 6,0). Os cultivares CNT-8 e Siete Cerros foram sensíveis e, BH-1146, IAC-18, IAC-13, C-3, IAC-17 e Alondra-4546, tolerantes a 5mg/litro de Al^{3+} nas soluções de tratamento combinado com 0mg/litro de P e pH = 4,0. Todos os cultivares foram sensíveis ao Al^{3+} quando se empregaram 15,5mg/litro de P e tolerantes quando se adicionaram 62mg/litro de P, considerando-se fixo o pH 4,0. Com o nível de 31mg/litro de P, em pH 4,0, os cultivares IAC-18, BH-1146, IAC-13 e C-3 foram tolerantes e 'IAC-17', 'Alondra-4546', 'CNT-8' e 'Siete Cerros', sensíveis. Nas soluções com pH 5,0 e 6,0, todos os cultivares foram tolerantes, independente das concentrações de P utilizadas, evidenciando pequena atividade dos íons Al^{3+} nesses níveis de pH. Os dados demonstraram que a tolerância a 5mg/litro de Al^{3+} , além do pH da solução, foi dependente das concentrações de fósforo. No segundo experimento, foram estudados os cultivares BH-1146, IAC-17 e Siete Cerros, em soluções de tratamento contendo cinco concentrações de P (0; 1,55; 3,875; 7,75 e 15,5mg/litro) e pH 4,0. Os cultivares BH-1146 e IAC-17 foram tolerantes e, 'Siete Cerros', sensível a 5mg/litro de Al^{3+} , quando foram adicionados 0 e 1,55mg/litro de

(1) Com verba suplementar do Acordo do Trigo entre as Cooperativas de Produtores Rurais do Vale do Paranapanema e a Secretaria de Agricultura e Abastecimento, por meio do Instituto Agrônomico. Recebido para publicação em 21 de setembro de 1983.

(2) Seção de Arroz e Cereais de Inverno, Instituto Agrônomico (IAC), Caixa Postal 28, 13100 – Campinas (SP).

(3) Com bolsa de suplementação do CNPq.

P nas soluções de tratamento. Quando se empregaram as concentrações de 3,875; 7,75 e 15,5mg/litro de P, todos os cultivares foram sensíveis ao Al^{3+} . Houve aumento mais acentuado nos teores de P na matéria seca das raízes em relação ao das partes aéreas quando se elevaram as concentrações de P das soluções. Esse aumento foi mais intenso no 'Siete Cerros' e 'IAC-17' do que no 'BH-1146'. Os teores de Al aumentaram nas raízes para todos os cultivares, à medida que cresceram as concentrações de P das soluções. Os resultados evidenciaram que, com o aumento da concentração de P, acentuou-se o efeito da toxicidade do Al^{3+} , indicando que o Al e o P ficaram acumulados interna ou externamente nas raízes.

Termos de indexação: alumínio x fósforo; soluções nutritivas; tolerância e sensibilidade à toxicidade de alumínio; cultivares de trigo tolerantes e sensíveis ao Al.

1. INTRODUÇÃO

Devido à tendência de o alumínio reagir quimicamente com o fósforo em quase todas as condições (no solo, em soluções ou em plantas) com um decréscimo na toxicidade do alumínio ou aparecimento de deficiência de fósforo, a interação alumínio/fósforo resultou em extensas investigações, porém as conclusões foram tão diversas como os métodos utilizados (ALI, 1973).

RAGLAND & COLEMAN (1962) mostraram um aumento na absorção de fósforo pelas raízes de feijão-vagem tratadas com alumínio, aumento esse maior quando o fósforo e o alumínio estavam juntos na mesma solução. Esses resultados foram negados por pesquisas feitas por CLARKSON (1966), que sugeriu dois tipos de interação entre Al e P: a primeira ocorria na superfície das células e resultava na fixação de PO_4^{3-} e, a segunda, dentro das células, resultava em marcante redução na produção de açúcares fosforilados.

RASMUSSEN (1968), estudando o modo de entrada, distribuição e localização do P em plantas de milho, sugeriu que havia uma precipitação do fósforo pelo alumínio, por ter sido a localização do fósforo exatamente a mesma verificada para o Al. Entretanto, uma conclusão oposta foi obtida por WASEL et alii (1970), estudando a localização do Al em células corticais de feijão e cevada, sem encontrar correlação entre a distribuição de Al e P. Concluíram os autores que fosfatos de alumínio não eram formados na superfície radicular ou dentro das raízes. As diferenças nos resultados poderiam ser explicadas pelo uso de diferentes níveis de pH nas soluções empregadas pelos referidos autores, considerando que, em pH baixo, o alumínio está na forma catiônica, em pH próximo à neutralidade, na forma de hidróxido $Al(OH)_3$, e em pH alcalino, na forma aniônica (ALI, 1973).

Esse fato mostrou a necessidade de controle do pH das soluções nutritivas para o estudo da interação Al x P, bem como da toxicidade do Al às plantas, porém os trabalhos, em sua maioria, não levaram em consideração esse aspecto (ALI, 1973).

Num estudo envolvendo nove cultivares de trigo em soluções nutritivas contendo quatro níveis de Al tóxico combinados com três níveis de pH em ausência de fósforo, foi demonstrado que o sintoma de toxicidade do alumínio – paralisação do crescimento radicular – ficou acentuado pelo aumento da concentração de alumínio na solução ou pela diminuição do pH para todos os cultivares estudados (CAMARGO, 1984). Aparentemente, a tolerância a determinada concentração de alumínio é uma característica antes relativa do que absoluta, por depender da concentração de sais, temperatura e pH das soluções nutritivas em estudo (ALI, 1973; CAMARGO & OLIVEIRA, 1981; CAMARGO et alii, 1981; CAMARGO, 1983; CAMARGO, 1984).

O presente trabalho tem por objetivo estudar a tolerância de cultivares de trigo a determinado nível de alumínio em soluções nutritivas contendo diferentes concentrações de fósforo com controle do pH.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – Experimento nº 1

Foi realizado em parcelas subdivididas, com duas repetições, com as parcelas compostas de quatro concentrações de fósforo (0; 15,5; 31,0 e 62,0mg/litro) combinadas com três níveis de pH (4,0; 5,0 e 6,0) e, as subparcelas formadas por vinte plântulas de oito cultivares de trigo.

Os cultivares de trigo estudados foram os seguintes: BH-1146, IAC-18, IAC-13, C-3, IAC-17, Alondra-4546, CNT-8 e Siete Cerros. As sementes foram lavadas com uma solução de hipoclorito de sódio a 10% e colocadas para germinar em caixas de Petri por 24 horas. Após este tempo, as radículas estavam iniciando a emergência.

Foram escolhidas vinte sementes uniformes de cada cultivar e colocadas sobre a superfície de doze telas de náilon, em cada uma das repetições. Todas as telas contendo as sementes dos oito cultivares foram colocadas em contacto com doze soluções nutritivas completas existentes em doze vasilhas plásticas de 8,3 litros de capacidade.

A concentração da solução nutritiva completa foi a seguinte: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 4mM; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2mM; KNO_3 4mM; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,435mM; KH_2PO_4 0,5mM; $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 2 μM ; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,3 μM ; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,8 μM ; NaCl 30 μM ; Fe-CYDTA 10 μM ; $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,10 μM e H_3BO_3 10 μM . O nível das soluções nas vasilhas plásticas atingiu a parte de baixo da tela de náilon, de maneira que as sementes foram mantidas úmidas e as radículas emergentes tinham um pronto suprimento de nutrientes. O pH da solução foi previamente ajustado para 4,0 com uma solução de

H_2SO_4 1N. As vasilhas plásticas contendo as soluções continuamente arejadas foram colocadas em banho-maria com temperatura de $25 \pm 1^\circ C$, dentro do laboratório. O experimento foi mantido com luz artificial em sua totalidade.

As plantas desenvolveram-se nessas condições por 48 horas. Após esse período, cada plântula tinha três raízes primárias, uma mais longa, medindo cerca de 4,5cm, e duas mais curtas, localizadas lateralmente à primeira.

Cada uma das doze telas de náilon contendo vinte plântulas dos oito cultivares foi transferida para doze vasilhas plásticas contendo soluções de tratamento com a décima parte da concentração de sais da solução completa, acrescidas de diferentes concentrações de fósforo na forma de KH_2PO_4 combinadas com três níveis de pH, conforme a relação seguinte:

	Nível de P (mg/litro)	pH
1	0	4,0
2	15,5	4,0
3	31,0	4,0
4	62,0	4,0
5	0	5,0
6	15,5	5,0
7	31,0	5,0
8	62,0	5,0
9	0	6,0
10	15,5	6,0
11	31,0	6,0
12	62,0	6,0

Nas soluções de tratamento, o ferro foi adicionado em quantidade equivalente como $FeCl_3$ no lugar do $Fe-CYDTA$, como foi descrito por MOORE et alii (1976). Antes da transferência das telas contendo as plântulas para as soluções de tratamento, foi adicionada a quantidade necessária de alumínio como $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ para ser obtida a concentração de 5mg/litro de alumínio. O pH final foi ajustado com uma solução de H_2SO_4 1 N para 4,0; 5,0 e 6,0 conforme o tratamento.

As plantas após crescerem por 48 horas nas respectivas soluções de tratamento, foram transferidas de volta para as vasilhas contendo solução nutritiva completa, onde cresceram nas primeiras 48 horas.

As plântulas permaneceram na solução completa por 72 horas. O crescimento da raiz nesse período depende da severidade do tratamento com alumínio. Com uma quantidade tóxica de alumínio, as raízes primárias não crescem mais e permanecem grossas, mostrando no ápice uma injúria típica

com descoloramento. A quantidade de crescimento da raiz foi determinada, medindo-se o comprimento da raiz de cada plântula no final das 72 horas na solução nutritiva completa e subtraindo-se o comprimento da mesma raiz no final de crescimento na solução tratamento.

Vinte plântulas dos cultivares BH-1146, IAC-17 e Siete Cerros, submetidas a crescimento em cada uma das doze soluções tratamentos, em cada repetição, foram colocadas para secar em estufa a 45°C por cinco dias, sendo a seguir analisadas quanto aos teores de P, Ca, Mg, K e Al, segundo o método de BATAGLIA et alii (1978).

2.2. Experimento nº 2

Foi realizado em parcelas subdivididas, com duas repetições, cujas parcelas foram compostas por cinco concentrações de fósforo (0; 1,55; 3,875; 7,75 e 15,5mg/litro) nas soluções de tratamento, e as subparcelas, por 100 plantas de três cultivares de trigo (BH-1146, IAC-17 e Siete Cerros).

A metodologia empregada foi a mesma descrita no item 2.1, com a diferença que, em todas as vasilhas plásticas contendo soluções nutritivas completas e de tratamento, foi utilizado o nível de pH = 4,0 e que, após o término do experimento nas soluções nutritivas completas, as 100 plântulas de cada cultivar, submetidas a crescimento em cada uma das cinco soluções tratamentos, em cada repetição, foram separadas em parte aérea e raízes, para serem analisadas quimicamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Experimento nº 1

O quadro 1 apresenta o comprimento médio das raízes dos oito cultivares de trigo, medido após 72 horas de crescimento na solução nutritiva completa, seguido de 48 horas de crescimento nas soluções de tratamento contendo 5mg/litro de Al^{3+} , associado a quatro diferentes concentrações de fósforo e três níveis de pH.

Considerando as médias dos diferentes cultivares estudados com 0mg/litro de P nas soluções de tratamento, verificou-se que, quando foi empregado pH 4,0, os cultivares CNT-8 e Siete Cerros foram sensíveis a 5mg/litro de Al^{3+} , ao passo que os cultivares BH-1146, IAC-18, IAC-13, C-3, IAC-17 e Alondra-4546 foram tolerantes. Nessa mesma concentração de P, mantendo-se, porém, o pH ao nível de 5,0 ou 6,0, todos os cultivares exibiram crescimento das raízes, evidenciando que, com o aumento do pH, houve

QUADRO 1 — Comprimento médio das raízes dos oito cultivares de trigo medido após 72 horas de crescimento em solução nutritiva completa, seguido de crescimento nas soluções de tratamento contendo 5mg/litro de Al^{3+} , combinando três diferentes níveis de pH e quatro concentrações de fósforo

Cultivares	Concentração de fósforo na solução (mg/litro)											
	0		15,5		31,0		62,0					
	pH		pH		pH		pH					
	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0			
	mm											
BH-1146	51,5	112,5	139,8	0,0	62,1	149,3	20,4	64,9	146,1	33,4	99,9	149,2
IAC-18	43,6	86,8	128,3	0,0	55,6	132,7	16,4	52,2	126,1	33,4	88,7	134,8
IAC-13	46,9	79,5	108,9	0,0	46,0	115,5	16,5	47,4	110,2	30,2	70,0	119,3
C-3	39,4	98,7	117,1	0,0	57,8	118,7	17,2	55,1	106,8	32,4	62,1	117,8
IAC-17	31,8	100,5	130,6	0,0	60,5	120,4	0,0	58,5	124,2	31,9	91,5	135,0
Alondra-4546	15,5	81,4	120,2	0,0	48,9	117,2	0,0	51,4	117,0	18,7	62,2	119,1
CNT-8	0,0	107,0	118,7	0,0	53,3	127,3	0,0	56,4	122,3	21,7	79,4	124,5
Siete Cerros	0,0	40,6	113,8	0,0	52,0	120,2	0,0	62,4	115,9	26,6	77,6	116,7

uma conseqüente redução da atividade dos íons Al^{3+} na solução. Isso também foi observado quando se utilizaram níveis mais elevados de fósforo nas soluções de tratamento.

Considerando as médias de crescimento das raízes quando nas soluções de tratamento foram adicionados 15,5mg/litro de P, mantendo-se pH 4,0 e 5mg/litro de Al^{3+} , verificou-se que todos os cultivares foram sensíveis a essa concentração de Al^{3+} , sugerindo uma interação P x Al que proporcionou maior sensibilidade de todos os cultivares a esse particular tratamento. Com as mesmas concentrações de P e Al nas soluções de tratamento, mantendo-se, porém, o pH nos níveis de 5,0 e 6,0, todos os cultivares apresentaram crescimento das raízes, sendo maior em pH 6,0 do que em pH 5,0.

Quando se adicionaram 31mg/litro de P nas soluções de tratamento, mantendo-se o pH 4,0, os cultivares BH-1146, IAC-18, IAC-13 e C-3 foram tolerantes a 5mg/litro de Al^{3+} , ao passo que os cultivares IAC-17, Alondra-4546, CNT-8 e Siete Cerros foram sensíveis. No nível de pH 4,0, empregando-se, porém, 62mg/litro de P nas soluções de tratamento, todos os cultivares foram tolerantes a 5mg/litro de Al^{3+} .

Com 15,5mg/litro de P na solução, em presença de 5mg/litro, houve um aumento do efeito nocivo do Al às raízes dos cultivares de trigo quando comparado com a solução de tratamento com pH 4,0, onde não foi adicionado P, evidenciando que essa concentração de P provocou um efeito mais nocivo do Al às raízes do que quando o P foi omitido. À medida que foram aumentados os teores de P das soluções para 31 e 62mg/litro, este fósforo poderia ter precipitado o alumínio das soluções, tornando-o incapaz de inibir irreversivelmente o crescimento das raízes, mesmo em pH 4,0.

Estes resultados confirmaram o trabalho de MOORE et alii (1976), que sugeriram a omissão do fósforo das soluções de tratamento contendo Al^{3+} , visando evitar a possível precipitação desse elemento como $Al(OH)_3$, mesmo em pH = 4,0. Foram também confirmados os resultados obtidos por CAMARGO (1984), para quem a identificação de cultivares de trigo tolerantes e sensíveis ao Al^{3+} , em soluções nutritivas, foi significativamente dependente do pH da solução e conseqüentemente, da atividade do íon Al^{3+} na solução.

Os dados obtidos nesse experimento também demonstraram que a reação dos cultivares de trigo a uma particular concentração de Al^{3+} , além do pH da solução foi dependente das quantidades adicionadas de fósforo.

Os teores médios de P, Ca, Mg, K e Al na matéria seca total das vinte plântulas dos cultivares BH-1146, IAC-17 e Siete Cerros, submetidas a crescimento em doze soluções de tratamento, no experimento n.º 1, encontram-se no quadro 2 e figuras 1 e 2.

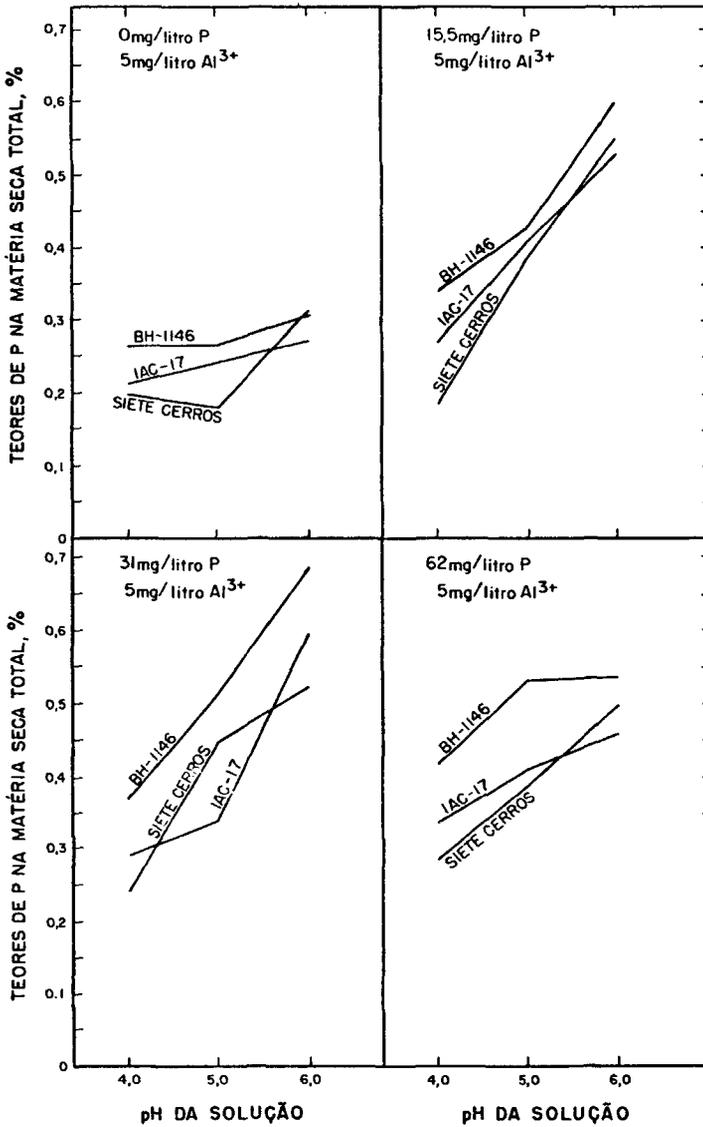


FIGURA 1 – Teores de P na matéria seca total de três cultivares de trigo estudados em soluções nutritivas contendo 5mg/litro de Al^{3+} combinando três níveis de pH e quatro concentrações de fósforo.

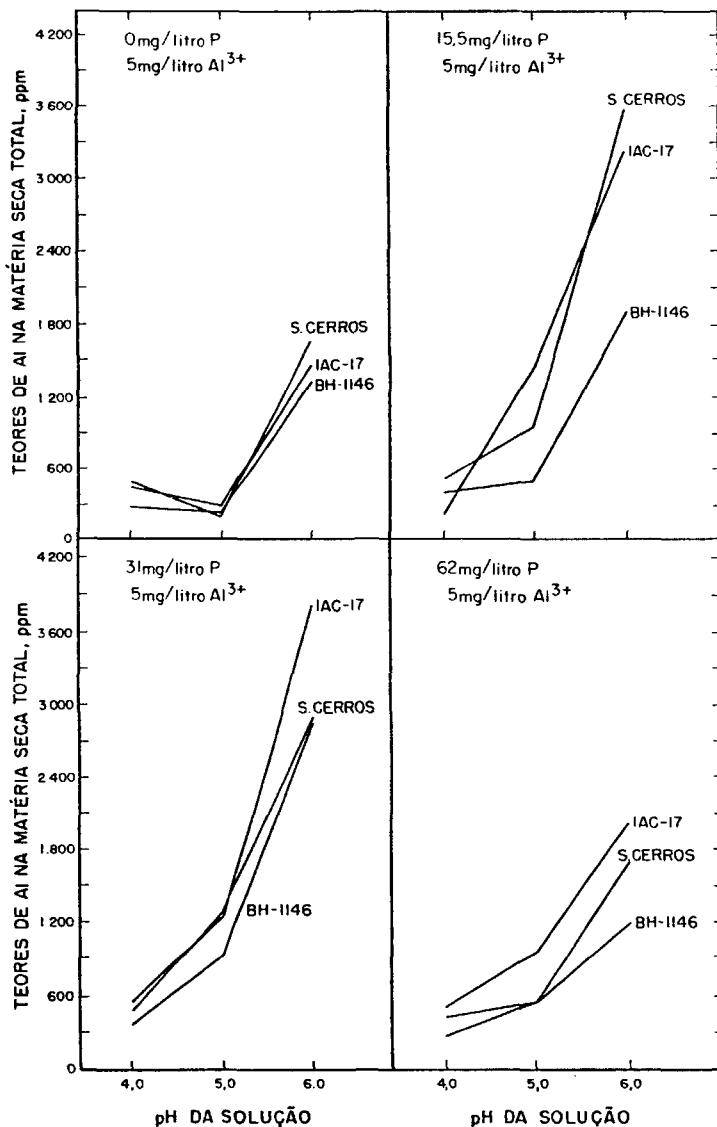


FIGURA 2 – Teores de Al na parte aérea de três cultivares de trigo estudados em soluções nutritivas contendo 5mg/litro de Al³⁺, combinando três níveis de pH e quatro concentrações de fósforo.

QUADRO 2 – Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio de três cultivares de trigo estudados em soluções nutritivas contendo 5mg/litro de Al^{3+} combinando três níveis de pH e quatro concentrações de fósforo

Cultivares	Solução tratamento		Teores de elementos na matéria seca total					
	P	pH	P	Ca	Mg	K	Al	
	mg/litro		%					ppm
BH-1146	0	4,0	0,264	0,32	0,29	6,29	280	
		5,0	0,266	0,34	0,29	6,05	223	
		6,0	0,307	0,31	0,29	6,86	1315	
	15,5	4,0	0,343	0,33	0,29	6,31	394	
		5,0	0,433	0,33	0,30	7,04	486	
		6,0	0,606	0,35	0,32	6,90	1844	
	31,0	4,0	0,371	0,32	0,30	6,30	363	
		5,0	0,517	0,33	0,30	6,99	938	
		6,0	0,686	0,37	0,29	7,29	2829	
	62,0	4,0	0,418	0,30	0,28	6,36	275	
		5,0	0,534	0,32	0,29	6,88	562	
		6,0	0,538	0,33	0,30	7,00	1209	
IAC-17	0	4,0	0,212	0,29	0,27	5,90	434	
		5,0	0,242	0,27	0,25	5,88	277	
		6,0	0,272	0,31	0,27	6,36	1449	
	15,5	4,0	0,272	0,31	0,27	6,23	200	
		5,0	0,414	0,32	0,28	6,36	1423	
		6,0	0,534	0,35	0,30	6,51	3202	
	31,0	4,0	0,290	0,30	0,26	5,77	544	
		5,0	0,337	0,30	0,27	6,26	1234	
		6,0	0,596	0,37	0,28	6,74	3801	
	62,0	4,0	0,336	0,27	0,25	5,92	351	
		5,0	0,412	0,30	0,26	6,41	961	
		6,0	0,461	0,34	0,28	6,03	1994	
Siete Cerros	0	4,0	0,198	0,27	0,27	3,92	483	
		5,0	0,180	0,26	0,27	4,23	181	
		6,0	0,309	0,36	0,28	5,25	1621	
	15,5	4,0	0,186	0,33	0,28	4,38	490	
		5,0	0,394	0,26	0,27	5,46	941	
		6,0	0,560	0,41	0,30	5,79	3516	
	31,0	4,0	0,241	0,30	0,27	4,08	464	
		5,0	0,450	0,28	0,27	5,22	1264	
		6,0	0,525	0,35	0,29	5,73	2869	
	62,0	4,0	0,287	0,30	0,28	4,16	441	
		5,0	0,390	0,28	0,28	5,54	561	
		6,0	0,504	0,32	0,29	5,69	1674	

Pelos resultados, verifica-se para os três cultivares, que, à proporção que se aumentou o pH de 4,0 para 6,0, mantendo-se constante uma particular concentração de P na solução, houve um aumento na absorção de fósforo. O 'BH-1146', tolerante ao Al^{3+} , em todos os tratamentos, apresentou os maiores teores de P na matéria seca total, em comparação com 'IAC-17' e 'Siete Cerros'.

Considerando uma particular concentração de P nas soluções contendo 5mg/litro de Al^{3+} , para os três cultivares considerados, houve aumento nos teores de Al na matéria seca total, quando o pH das soluções aumentou de 4,0 para 6,0, sem prejuízo para o crescimento das raízes. Os resultados sugeriram que grande parte do alumínio não foi absorvido pelas plantas, mas ficou acumulado, interna ou externamente nas raízes, de forma inativa, conforme trabalho desenvolvido por CLARKSON (1966).

Houve um aumento nos teores de Al na matéria seca total conforme se elevaram as concentrações de fósforo das soluções de tratamento de 0 para 31mg/litro; à medida, porém, que se aumentaram os teores de fósforo de 31 para 62mg/litro, houve marcante redução nos teores de Al na matéria seca total, independente do pH considerado.

Em todos os tratamentos, o cultivar BH-1146 foi o mais tolerante ao Al^{3+} presente nas soluções, apresentando as menores quantidades de Al na matéria seca total.

3.2. Experimento nº 2

O comprimento médio das raízes dos três cultivares de trigo, medido após 72 horas de crescimento na solução nutritiva completa, seguido de 48 horas de crescimento nas soluções de tratamento contendo 5mg/litro de Al^{3+} e cinco diferentes concentrações de fósforo, encontram-se no quadro 3.

Pelas suas médias, os cultivares BH-1146 e IAC-17, quando estudados em soluções de tratamento contendo 0 e 1,55mg/litro de P, apresentaram crescimento radicular. Nessas mesmas condições, o 'Siete Cerros' mostrou-se sensível ao Al^{3+} , apresentando raízes com o ápice descolorido e, portanto, sem crescimento radicular.

Quando se adicionaram 3,875; 7,75 e 15,5mg/litro nas soluções em presença de 5mg/litro de Al^{3+} , mantendo-se o pH 4,0, os três cultivares mostraram-se sensíveis ao Al^{3+} . Esses dados confirmaram aqueles obtidos no experimento nº 1, particularmente quando foi empregada a concentração de 15,5mg/litro de fósforo.

Os teores médios de P, Ca, Mg, K e Al na matéria seca das partes aéreas e das raízes das 100 plântulas dos cultivares BH-1146, IAC-17 e Siete

Cerros, submetidos a crescimento em cinco soluções de tratamento, com duas repetições, encontram-se no quadro 4. Na figura 3 estão representados os teores de P e de Al nas partes aéreas e raízes dos cultivares estudados em função da concentração de P nas soluções de tratamento, contendo 5mg/litro de Al^{3+} , em pH = 4,0.

QUADRO 3 – Comprimento médio das raízes de três cultivares de trigo medido após 72 horas de crescimento em solução nutritiva completa seguido de crescimento nas soluções de tratamento contendo 5mg/litro de Al^{3+} combinando cinco concentrações de fósforo

Cultivares	Concentração de fósforo na solução (mg/litro)				
	0	1,55	3,875	7,75	15,5
	mm				
BH-1146	35,4	25,9	0,0	0,0	0,0
IAC-17	10,6	6,2	0,0	0,0	0,0
Siete Cerros	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Os resultados mostraram que, conforme se elevaram as concentrações de fósforo nas soluções de tratamento em presença de Al, houve aumento nos teores de fósforo na matéria seca da parte aérea e das raízes para os cultivares IAC-17 e Siete Cerros, mais acentuado nas raízes. O aumento nos teores de fósforo na matéria seca da parte aérea e das raízes no 'BH-1146' foi menos acentuado do que nos outros dois cultivares estudados.

Os teores de alumínio nas raízes aumentaram para todos os cultivares à medida que cresceram as concentrações de fósforo nas soluções de tratamento, porém 'BH-1146' exibiu menores teores em relação a 'IAC-17' e 'Siete Cerros'. Não houve variações consistentes nos teores de Al na matéria seca da parte aérea conforme se elevaram os níveis de P nas soluções. Os dados mostraram que, a partir da concentração de 3,875mg/litro de P nas soluções, quando todos os cultivares não apresentaram crescimento radicular, isto é, foram sensíveis ao Al^{3+} , a maior parte do Al ficou acumulado nas raízes, interna ou externamente, juntamente com o fósforo, confirmando o trabalho de CLARKSON (1966).

O aumento da concentração de fósforo nas soluções de tratamento de 0 para 15,5mg/litro em presença de 5mg/litro de Al^{3+} , pH = 4,0 e temperatura de $25 \pm 1^{\circ}C$ tornou mais acentuado o efeito da toxicidade de Al^{3+} para os três cultivares, confirmando os resultados do experimento nº 1.

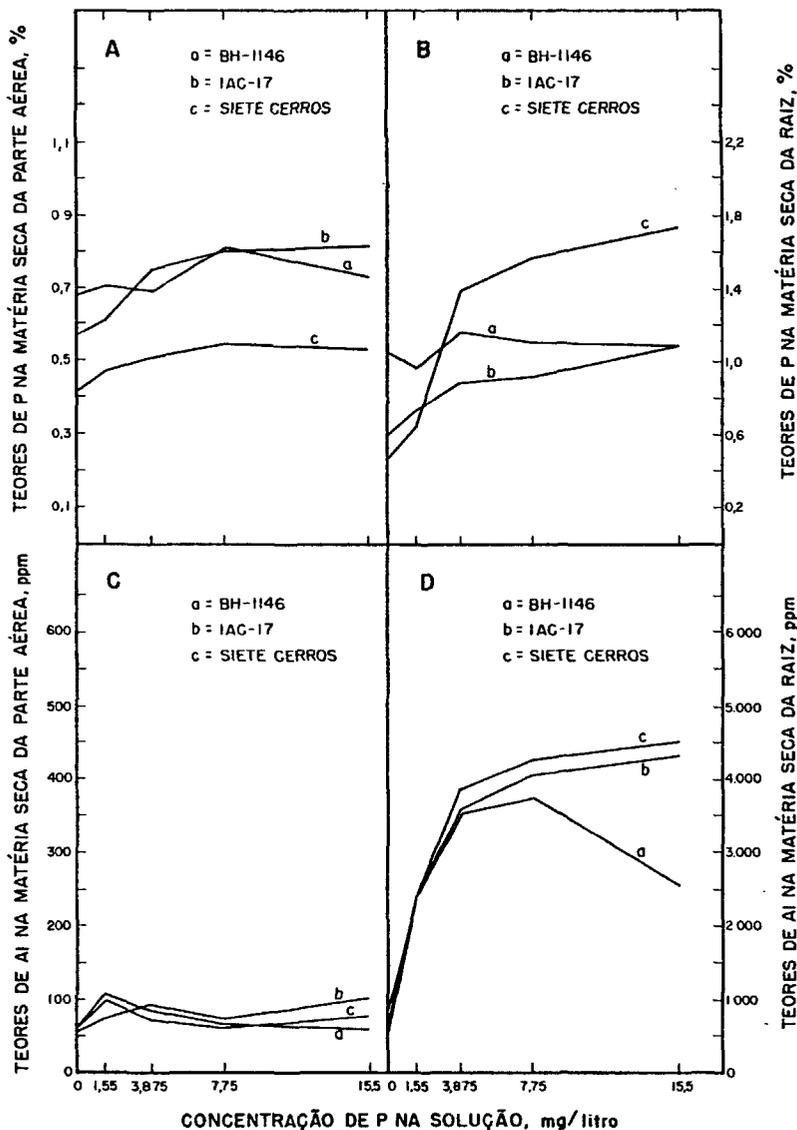


FIGURA 3 — Efeito de cinco concentrações de fósforo em soluções nutritivas, com pH 4,0, contendo 5mg/litro de Al^{3+} , nos teores de P: A: matéria seca da parte aérea e B: das raízes, e nos teores de Al, C: matéria seca da parte aérea e D: das raízes, nos cultivares de trigo BH-1146, IAC-17 e Siete Cerros.

QUADRO 4 — Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio de três cultivares de trigo estudados em soluções nutritivas contendo 5mg/litro de Al^{3+} combinando cinco concentrações de fósforo

Cultivares	P na solução tratamento	Teores de elementos na matéria seca									
		Parte aérea					Raiz				
		P	Ca	Mg	K	Al	P	Ca	Mg	K	Al
mg/litro	%					%					ppm
BH-1146	0	0,681	0,23	0,29	5,37	59	1,042	0,24	0,31	5,52	613
	1,55	0,708	0,25	0,31	5,16	107	0,958	0,22	0,33	5,14	2347
	3,875	0,689	0,25	0,30	4,90	85	1,156	0,23	0,34	5,56	3545
	7,75	0,811	0,23	0,31	5,24	66	1,091	0,22	0,30	5,16	3763
	15,5	0,728	0,25	0,29	5,21	60	1,082	0,27	0,30	5,73	2563
IAC-17	0	0,576	0,20	0,26	5,00	55	0,597	0,19	0,26	4,63	579
	1,55	0,615	0,19	0,26	4,93	73	0,728	0,23	0,26	4,92	2431
	3,875	0,750	0,22	0,27	5,30	92	0,879	0,24	0,27	4,87	3889
	7,75	0,801	0,22	0,28	5,09	73	0,912	0,24	0,24	4,49	4215
	15,5	0,816	0,21	0,27	4,92	106	1,081	0,22	0,30	5,80	4332
Siete Cerros	0	0,422	0,17	0,22	3,69	58	0,475	0,27	0,28	3,43	797
	1,55	0,475	0,18	0,24	4,34	103	0,647	0,21	0,25	3,67	2435
	3,875	0,507	0,19	0,23	4,78	73	1,393	0,17	0,23	4,15	3590
	7,75	0,544	0,21	0,22	4,59	63	1,572	0,23	0,26	4,89	4085
	15,5	0,530	0,17	0,22	4,30	78	1,727	0,25	0,21	3,57	4538

SUMMARY

EFFECT OF PHOSPHORUS IN NUTRIENT SOLUTION ON THE TOLERANCE TO ALUMINUM TOXICITY IN WHEAT CULTIVARS

Two experiments were conducted with the objective of studying the tolerance of wheat cultivars to 5 mg/l of Al^{3+} in nutrient solutions. The tolerance was evaluated by measuring the root growth in an aluminum-free complete nutrient solution after a treatment of 48 hours, in aluminum solution with different levels of phosphorus, and with controlled pH and temperature ($25 \pm 1^{\circ}C$). In the first experiment eight cultivars were studied in treatment solutions with four levels of phosphorus (0; 15.5; 31.0 and 62.0 mg/l combined with three levels of pH (4.0; 5.0 and 6.0). The cultivars CNT-8 and Siete Cerros were sensitive and 'BH-1146', 'IAC-18', 'IAC-13', 'C-3', 'IAC-17' and 'Alondra-4546' were tolerant to 5 mg/l of Al^{3+} in the solutions with pH 4.0 and in absence of P. All cultivars were sensitive to Al^{3+} when it was applied 15.5 mg/l of P and they were tolerant when was used 62 mg/l of P in the solutions, considering constant the pH 4.0. In solutions with the level of 31 mg/l of P and pH 4.0, the cultivars IAC-18, BH-1146, IAC-13 and C-3 showed tolerance and IAC-17, Alondra-4546, CNT-8 and Siete Cerros showed sensitivity to Al^{3+} . When it was used solution with pH 5.0 or 6.0 the cultivars presented tolerance, being non dependent of P concentration, in consequence of the low activity of Al^{3+} ions under these pH levels. The data demonstrated that tolerance to 5 mg/l of Al^{3+} , besides the pH level was dependent on the P concentration in the solution. The cultivars BH-1146, IAC-17 and Siete Cerros were studied in a second experiment in nutrient solutions with pH 4.0, containing five P concentrations (0; 1.55; 3.875; 7.75 and 15.5 mg/l). 'BH-1146' and 'IAC-17' were tolerant and 'Siete Cerros' was sensitive to 5 mg/l of Al^{3+} when it was added 0 and 1.55 mg/l of P into the treatment solution. When it was considered the P levels of 3.875; 7.75 and 15.5 mg/l all cultivars showed symptoms of Al toxicity in their roots. There was an increase in P content in aereal part and root dry matter with the increasing amount of P into the solutions, being more evident in 'IAC-17' and 'Siete Cerros' than in 'BH-1146'. Aluminum content in root dry matter increased in all cultivars as the P concentration increased into the solutions, suggesting that Al and P became accumulated in the roots, external or internally.

Index terms: aluminum x phosphorus interaction; nutrient solutions; tolerance to Al toxicity; sensitivity to Al toxicity; wheat cultivars tolerant to Al; wheat cultivars sensitive to Al.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, M.S. Influence of cations on aluminum toxicity in wheat (*Triticum aestivum* Vill., Host). Corvallis, Oregon State University, 1973. 102f. Tese. (Doutoramento)
- BATAGLIA, O.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; FURLANI, A.M.C. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agrônômico, 1978. 31p. (Circular, 87)
- CAMARGO, C.E.O. O pH das soluções nutritivas no comportamento de cultivares de trigo à toxicidade de alumínio. *Bragantia*, Campinas, 43(2): 327-335, 1984.

- CAMARGO, C.E.O. Efeito da temperatura da solução nutritiva na tolerância ao alumínio de cultivares de trigo. *Bragantia*, Campinas, **42**: 51-63, 1983.
- _____ & 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.
- _____ ; _____ & LAVORENTI, A. Efeito de diferentes concentrações de sais em solução nutritiva na tolerância de cultivares de trigo à toxicidade de alumínio. *Bragantia*, Campinas, **40**: 93-101, 1981.
- CLARKSON, D.T. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiology*, **41**:165-172, 1966.
- MOORE, D.P.; KRONSTAD, W.E. & METZGER, R. 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.
- RAGLAND, J.L. & COLEMAN, N.T. Influence of aluminum on phosphorus uptake by snap bean roots. *Soil Science Society of America Proceedings*, **26**:88-90, 1962.
- RASMUSSEN, H.P. Entry and distribution of aluminum in *Zea mays*: electron microprobe x-ray analysis. *Planta*, **81**:28-37, 1968.
- WASEL, Y.; HOFFEN, A. & ESHEL, A. The localization of aluminum in cortex cells of bean and barley roots by x-ray micro-analysis. *Physiologia Plantarum*, **23**:75-79, 1970.