

Herança da tolerância à toxicidade de alumínio em trigo duro

Anita Martins Fontes Del Guercio (1*); Carlos Eduardo de Oliveira Camargo (2)

(1) Instituto Agronômico (IAC), Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas (SP), Brasil.

(2) In memoriam.

(*) Autora correspondente: animfdg@yahoo.com.br

Recebido: 17/dez./2010; Aceito: 28/jun./2011

Resumo

O trigo duro (*Triticum durum* Desf.), também conhecido como “trigo para macarrão”, caracteriza-se pela farinha amarelada (sêmola) adequada para o preparo de massas. No Brasil ainda não ocorre seu cultivo extensivo em decorrência, principalmente, de problemas com sua adaptação aos solos ácidos, com níveis tóxicos de alumínio. Visando estimar a herança da tolerância à toxicidade de alumínio efetuaram-se cruzamentos entre o genótipo de trigo duro tolerante, P33 e o sensível, IAC-1003 para a obtenção do híbrido em geração F_1 e a seguir das gerações F_2 , F_3 , RC_1F_1 , RC_2F_1 , RC_1F_2 e RC_2F_2 . Todos os genótipos foram testados em soluções nutritivas e a tolerância à toxicidade de alumínio foi medida pela capacidade de crescimento da raiz primária central em solução nutritiva completa, após tratamento de 48 horas em solução contendo 2 mg L^{-1} de Al^{3+} . O genótipo P33 diferiu do IAC-1003 por um par de alelos dominantes para a tolerância à presença dessa concentração de alumínio nas soluções nutritivas e pode ser usado como fonte de tolerância ao alumínio em programas de melhoramento de trigo duro.

Palavras-chave: *Triticum durum* Desf., genes dominantes, solos ácidos, melhoramento genético.

Inheritance of aluminum toxicity in durum wheat

Abstract

Durum wheat (*Triticum durum* Desf.), also known as “pasta wheat”, is characterized to produce yellow flour (semolina) adequate for pasta elaboration. In Brazil, its extensive cultivation is limited by the low crop adaptability to acid soils, with toxic aluminum levels. Aiming to estimate the inheritance of the aluminum toxicity tolerance, crosses were made between tolerant durum wheat genotype P33 and the sensitive IAC-1003 to obtain the hybrid in F_1 generation and subsequent generations F_2 , F_3 , BC_1F_1 , BC_2F_1 , BC_1F_2 and BC_2F_2 . All genotypes were tested in nutrient solutions and the aluminum toxicity tolerance was measured by the growth capacity of the primary central root after 48 hours of treatment with 2 mg L^{-1} of aluminum in nutrient solution. The genotype P33 has differed from IAC-1003 by one pair of dominant alleles for the tolerance at the presence of this aluminum concentration in the nutrient solution and it could be used as source of aluminum tolerance in durum wheat breeding programs.

Key words: *Triticum durum* Desf., dominant genes, acid soils, plant breeding.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a região do Cerrado cobre 24% da área do território nacional, equivalendo a 207 milhões de hectares (EMBRAPA, 2008) e caracteriza-se por ter solos ácidos e com elevados teores de Al^{3+} . Segundo KOCHIAN (1995), a toxicidade de alumínio é o fator mais limitante à produtividade agrícola nesses solos. Em solos ácidos paulistas, mesmo com irrigação por aspersão, os genótipos de trigo duro (*Triticum durum* Desf.), sensíveis à toxicidade de Al^{3+} , pouco produziram em relação às cultivares de trigo comum, com tolerância genética a essa toxicidade (CAMARGO et al., 1992).

Existem vários métodos utilizados para a avaliação da tolerância ao alumínio em programas de melhoramento genético de milho (MARTINS et al., 1999), trigo (CAMARGO et al., 2006), aveia (SÁNCHEZ-CHACÓN et al., 2000) e arroz (FERREIRA et al., 1997). Há um consenso de que características baseadas no desenvolvimento do sistema radicular, empregando soluções nutritivas, são os melhores critérios para seleção de plantas tolerantes.

A separação de classes de tolerância ao alumínio em trigo comum por meio do emprego de soluções nutritivas foi verificada por vários pesquisadores (CAMARGO e OLIVEIRA, 1981; LAFEVER et al., 1977). A vantagem oferecida pelo uso das soluções é a imediata observação dos efeitos da injúria causada pelo alumínio (Al^{3+}), pela

inibição de crescimento da raiz, evitando-se os inconvenientes do uso de solo, onde a intensidade de estresse não pode ser quantitativamente controlada e outros fatores, além do alumínio, podem estar envolvidos (MOORE et al., 1976).

A tolerância ao alumínio é controlada geneticamente e os mecanismos da herança dessa tolerância são diferentes conforme a espécie, variando também entre cultivares dentro de espécies (SÁNCHEZ-CHACÓN et al., 2000).

Para a maioria das espécies vegetais, a tolerância ao Al^{3+} é um caráter com interação alélica dominante, podendo ser controlado por um ou mais genes de ação maior, que atuam juntamente com genes modificadores (KOCHIAN, 1995). Em genótipos de aveia e de trigo, observou-se a tolerância ao Al^{3+} determinada por somente um gene com dominância do alelo que condiciona a tolerância (SÁNCHEZ-CHACÓN et al., 2000; CAMARGO, 1981; 1999; CAMARGO et al., 2000a,b). Entretanto, ANIOL (1990) obteve resultados em trigo indicando que a tolerância ao Al^{3+} é um caráter complexo, controlado por vários genes, genes modificadores de menor efeito e, provavelmente, por genes controlando a supressão de genes para a tolerância ao Al^{3+} .

Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo estudar a herança da tolerância à toxicidade de alumínio em solução nutritiva, em populações híbridas de trigo duro oriundas do cruzamento entre um genótipo sensível e outro tolerante.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os genótipos P33 e IAC-1003, oriundos do programa de melhoramento do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), sendo o primeiro de porte alto e tolerante à toxicidade de alumínio em soluções nutritivas e o segundo, de porte baixo e sensível à toxicidade de alumínio; ambos foram semeados em vasos plásticos para realização do cruzamento entre tais genótipos e assim a obtenção das sementes híbridas em geração F_1 . A seguir, as sementes F_1 e dos parentais foram semeadas em vasos nas condições de telado e por ocasião do florescimento foram realizados novamente os cruzamentos visando à obtenção de sementes dos retrocruzamentos para ambos os parentais (RC_1 e RC_2). Por autofecundação das espigas das plantas F_1 obtiveram-se sementes em geração F_2 .

A partir do material obtido, foram escolhidas 144 sementes de cada um dos parentais e do híbrido em geração F_1 , 360 sementes em F_2 , 136 em RC_1 e 177 em RC_2 . Essas sementes foram testadas juntamente com as cultivares-controle de trigo comum BH-1146 (tolerante) e Anahuac (sensível), em soluções nutritivas quanto à tolerância a 2 mg L^{-1} de Al^{3+} , empregando-se a técnica proposta por CAMARGO et al. (2006), descrita a seguir. As sementes dos parentais, dos controles, da população híbrida em geração F_1 e em geração F_2 , bem como dos dois retrocruzamentos (RC_1 e RC_2), foram cuidadosamente lavadas com uma

solução de hipoclorito de sódio a 10% e colocadas para germinar em placas de Petri por 72 horas, em refrigerador com temperatura de $12 \text{ }^\circ\text{C}$. Após esse tempo as radículas estavam iniciando a emergência.

As sementes pré-germinadas e uniformes dos parentais, dos controles e das populações híbridas foram colocadas com auxílio de uma pinça sobre o topo de seis telas de náilon, de modo que cada tela contivesse sementes das quatro populações híbridas (F_1 , F_2 , RC_1 e RC_2), dos dois parentais e dos dois controles. A tela de náilon foi adaptada sobre vasilha de plástico de 8,3 litros de capacidade, contendo solução nutritiva completa, de maneira que as sementes fossem mantidas úmidas e as radículas emergentes tocassem nas soluções tendo, portanto, um pronto suprimento de água e nutrientes. A composição da solução nutritiva completa (MOORE, 1974 e MOORE et al., 1976; CAMARGO et al., 2006) foi de: $Ca(NO_3)_2$ 4 mmol L^{-1} , $MgSO_4$ 2 mmol L^{-1} , KNO_3 4 mmol L^{-1} , $(NH_4)_2SO_4$ $0,435 \text{ mmol L}^{-1}$, KH_2PO_4 $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$, $MnSO_4$ $2 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$, $CuSO_4$ $0,3 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$, $ZnSO_4$ $0,8 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$, $NaCl$ $30 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$, $Fe\text{-CYDTA}$ $10 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$, Na_2MoO_4 $0,10 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ e H_3BO_3 $10 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$. Durante todo o período experimental, a solução das vasilhas permaneceu arejada e diariamente seu volume foi completado com água destilada e o pH ajustado para 4,0 com H_2SO_4 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ou $NaOH$ mol L^{-1} . As vasilhas foram mantidas em banho-maria à temperatura de $24 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, sob condição de laboratório com controle de temperatura ambiente.

O experimento foi mantido com luz fluorescente ($80 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em sua totalidade, desenvolvendo-se as plântulas nessas condições por 48 horas. Após esse período, em cada plântula havia três raízes primárias, uma mais longa, com cerca de 4 cm e duas mais curtas, localizadas lateralmente à primeira. As telas então foram transferidas para solução-tratamento contendo 2 mg L^{-1} , na forma de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$. A concentração foi escolhida com base em estudos que mostraram ser esse nível eficiente para a separação de plantas de trigo duro, tolerantes e sensíveis ao Al^{3+} (CAMARGO et al., 2006). A composição da solução-tratamento foi de um décimo da solução nutritiva completa, exceto que o fósforo foi omitido e o ferro, adicionado em quantidade equivalente como $FeCl_3$, no lugar de $Fe\text{-CYDTA}$. O fósforo é omitido para evitar a possível precipitação do alumínio. Por causa da precipitação do alumínio como $Al(OH)_3$, especial atenção foi dada a esse ponto.

Antes das telas terem sido transferidas para as soluções de tratamento, foi adicionada suficiente solução de H_2SO_4 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ para ajustar o pH para cerca de 4,2, colocando-se, então a necessária quantidade de alumínio como $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$, visando obter solução com 2 mg L^{-1} de Al^{3+} . O pH final foi ajustado para 4,0 com uma solução de H_2SO_4 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, evitando-se adicionar $NaOH$, que poderia causar a precipitação do alumínio pelo menos no local de queda da gota. As plântulas foram

mantidas nessa solução tratamento por 48 horas. No fim desse período, as telas foram transferidas novamente para as vasilhas contendo solução nutritiva completa, onde estavam nas primeiras 48 horas. As plântulas foram mantidas, então, nessas condições por mais 72 horas. O crescimento da raiz, após 72 horas na solução completa, depende da severidade da prévia solução-tratamento.

Com uma quantidade tóxica de alumínio para determinado genótipo, as raízes primárias não retomaram o crescimento ao voltar para a solução completa e permaneceram grossas, mostrando no ápice uma injúria típica com descoloramento. As plântulas testadas foram identificadas e classificadas quanto à tolerância e sensibilidade ao Al^{3+} e transplantadas para vasos no telado visando à obtenção das sementes F_2 e F_3 dos cruzamentos e F_2 dos retrocruzamentos. Após o desenvolvimento das plantas, por ocasião da maturação foram escolhidas 20 plantas do cruzamento P33/IAC-1003 em geração F_2 , 26 plantas do mesmo cruzamento em geração F_3 , e 19 e 20 plantas de cada um dos retrocruzamentos, P33/IAC-1003//P33 e P33/IAC-1003//IAC-1003, respectivamente, em geração F_2 .

Sementes dos parentais P33 (tolerante) e IAC-1003 (sensível), das cultivares controle de trigo comum BH-1146 (tolerante) e Anahuac (sensível), e daquelas plantas selecionadas dos cruzamentos e dos retrocruzamentos foram testadas, em soluções nutritivas, quanto à tolerância a 2 mg L^{-1} de Al^{3+} . A técnica empregada foi a mesma proposta por CAMARGO et al. (2006), descrita anteriormente.

As frequências de plantas tolerantes e sensíveis foram calculadas com base nas reações de tolerância (crescimento da raiz após um período de 48 horas em soluções contendo 2 mg L^{-1} de Al^{3+}) e sensibilidade (paralisação de crescimento da raiz nas mesmas condições). O teste de qui-quadrado (χ^2) foi utilizado para comparar as frequências obtidas e esperadas pela hipótese de segregação de um par de alelos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As reações à toxicidade de alumínio a 2 mg L^{-1} em soluções nutritivas das plântulas de trigo duro dos parentais (P33 e IAC-1003), e das gerações F_1 , F_2 , RC_1 e RC_2 expressas

em número de plantas tolerantes (T) e sensíveis (S), estão relacionadas na tabela 1.

Todas as plântulas do parental P33 foram tolerantes a essa concentração de Al^{3+} , com crescimento das raízes mesmo após o período de 48 horas na solução-tratamento, concordando com os resultados anotados por CAMARGO (1998). O parental IAC-1003, por sua vez, foi totalmente sensível à presença de 2 mg L^{-1} nas soluções tratamento, isto é, houve paralisação irreversível do crescimento das raízes após permanecerem 48 horas nessas soluções.

A população F_1 do cruzamento entre os parentais P33 e IAC-1003 mostrou todas as plântulas tolerantes, sugerindo que o parental P33 possui um par de alelos dominantes para tolerância à toxicidade de alumínio, como verificado em aveia (SÁNCHEZ-CHACÓN et al., 2000) e em trigo comum (CAMARGO, 1981; 1999; CAMARGO et al., 2000a,b). Nessa mesma população, em geração F_2 , observou-se segregação de 260 plantas tolerantes para cem plantas sensíveis, aproximando-se da proporção esperada de 3:1, com valor de probabilidade de 0,22 de não terem ocorrido ao acaso.

Na geração F_1 do retrocruzamento P33/IAC-1003//P33 (RC_1F_1) verificou-se segregação de 136 plantas tolerantes para zero plantas sensíveis, correspondendo à proporção esperada 1:0, com valor de probabilidade igual a 1,00, indicando 100% de probabilidade de que não tenham ocorrido ao acaso. Para o retrocruzamento P33/IAC-1003//IAC-1003 (RC_2F_1) observou-se segregação de 96 plantas tolerantes e 81 plantas sensíveis, aproximando-se da proporção esperada 1:1, com valor de probabilidade de 0,26 de não terem ocorrido ao acaso.

A partir dos resultados, seria possível considerar que o parental P33 teria o genótipo AA (tolerante), o IAC-1003 aa (sensível), o F_1 seria Aa (tolerante), o F_2 teria a segregação 1/4 AA (tolerante), 2/4 Aa (tolerante) e 1/4 aa (sensível), o RC_1F_1 teria a segregação 1/2 AA (tolerante) e 1/2 Aa (tolerante) e o RC_2F_1 com segregação 1/2 Aa (tolerante) e 1/2 aa (sensível).

Os dados da reação à toxicidade de alumínio a 2 mg L^{-1} em soluções nutritivas das plântulas de trigo duro das progênies em geração F_2 do cruzamento P33/IAC-1003, expressas em número de plantas tolerantes (T) e número de plantas sensíveis (S) constam da tabela 2.

Tabela 1. Reações de trigo duro à toxicidade de alumínio (2 mg L^{-1}) em soluções nutritivas dos parentais P33 e IAC-1003 e das gerações F_1 , F_2 , RC_1 e RC_2 , expressas em número de plantas tolerantes (T) e número de plantas sensíveis (S) ao alumínio tóxico

Parental ou Cruzamento	Reação dos parentais	Plantas observadas		Proporção esperada T : S	χ^2	Probabilidade ⁽¹⁾
		T (n.º)	S (n.º)			
P33	T	144	0			
IAC-1003	S	0	144			
P33/IAC-1003 (F_1)	T	144	0	1 : 0	0,00	1,00
P33/IAC-1003 (F_2)	T x S	260	100	3 : 1	1,48	0,22
P33/IAC-1003//P33 (RC_1)	(T x S) x T	136	0	1 : 0	0,00	1,00
P33/IAC-1003//P33 (RC_2)	(T x S) x S	96	81	1 : 1	1,27	0,26

(1) Probabilidade de sucesso entre as frequências obtidas e esperadas pela hipótese da segregação de um par de alelos.

Tabela 2. Reações de trigo duro à toxicidade de alumínio (2 mg L^{-1}) em soluções nutritivas das progênies da geração F_2 do cruzamento P33/IAC-1003, expressas em número de plantas tolerantes (T) e número de plantas sensíveis (S) ao alumínio tóxico

Progênies F_2 P33/ IAC-1003	Plantas observadas		Proporção esperada T : S	χ^2	Probabilidade ⁽¹⁾
	T (n.º)	S (n.º)			
1	63	19	3 : 1	0,15	0,70
2	61	19	3 : 1	0,07	0,79
3	66	19	3 : 1	0,32	0,57
4	62	18	3 : 1	0,27	0,60
5	65	19	3 : 1	0,25	0,62
6	64	22	3 : 1	0,02	0,89
7	66	18	3 : 1	0,57	0,45
8	69	18	3 : 1	0,86	0,35
9	58	25	3 : 1	1,16	0,28
10	63	25	3 : 1	0,55	0,46
11	66	21	3 : 1	0,03	0,86
12	68	20	3 : 1	0,24	0,62
13	61	20	3 : 1	0,00	1,00
14	60	20	3 : 1	0,00	1,00
15	60	20	3 : 1	0,00	1,00
16	62	19	3 : 1	0,10	0,75
17	60	23	3 : 1	0,33	0,57
18	67	15	3 : 1	1,97	0,16
19	63	16	3 : 1	0,95	0,33
20	60	21	3 : 1	0,04	0,84

⁽¹⁾ Probabilidade de sucesso entre as frequências obtidas e esperadas pela hipótese da segregação de um par de alelos.

Analisando-se as reações das 20 progênies do cruzamento considerado verificou-se que em todas elas ocorreu segregação que se aproximou da proporção esperada 3:1, com valores de probabilidade não significativos. Dessa forma, seria possível considerar que a população F_2 teria segregação de 1/4 AA (tolerante), 2/4 Aa (tolerante) e 1/4 aa (sensível) ou 3/4 A_ (tolerante):1/4 aa (sensível).

Os dados da reação à toxicidade de alumínio a 2 mg L^{-1} em soluções nutritivas das plântulas de trigo duro das progênies em geração F_3 do cruzamento P33/IAC-1003, expressas em número de plantas tolerantes (T) e número de plantas sensíveis (S) estão relacionados na tabela 3.

Observando-se as 26 progênies em geração F_3 verificou-se que oito delas tiveram todas as plântulas tolerantes, sugerindo que tenham sido originadas de plantas com genótipo AA em geração F_2 ; cinco progênies foram sensíveis indicando que se originaram de plantas sensíveis (aa) em geração F_2 ; e finalmente, treze progênies tiveram a segregação esperada de três plântulas tolerantes:uma plântula sensível, mostrando que foram oriundas de plantas com genótipo Aa na geração F_2 .

Na tabela 4, observam-se as segregações das progênies da geração F_2 do retrocruzamento P33/IAC-1003//P33 em relação à reação à toxicidade de alumínio a 2 mg L^{-1} .

Sete progênies são totalmente tolerantes, com segregação 1:0, indicando terem sido originadas de plantas

Tabela 3. Reações à toxicidade de alumínio (2 mg L^{-1}) em soluções nutritivas das progênies de trigo duro da geração F_3 do cruzamento P33/IAC-1003, expressas em número de plantas tolerantes (T) e número de plantas sensíveis (S) ao alumínio tóxico

Progênies F_3 P33/ IAC-1003	Plantas observadas		Proporção esperada T : S	χ^2	Probabilidade ⁽¹⁾
	T (n.º)	S (n.º)			
1	83	30	3 : 1	0,14	0,71
2	106	0	1 : 0	0,00	1,00
3	48	14	3 : 1	0,19	0,66
4	74	27	3 : 1	0,16	0,69
5	73	26	3 : 1	0,08	0,78
6	73	26	3 : 1	0,08	0,78
7	97	0	1 : 0	0,00	1,00
8	76	21	3 : 1	0,58	0,45
9	66	28	3 : 1	1,15	0,28
10	0	66	0 : 1	0,00	1,00
11	0	66	0 : 1	0,00	1,00
12	2	56	0 : 1	0,07	0,79
13	50	18	3 : 1	0,08	0,78
14	48	18	3 : 1	0,18	0,67
15	72	0	1 : 0	0,00	1,00
16	1	68	0 : 1	0,01	0,92
17	113	0	1 : 0	0,00	1,00
18	63	0	1 : 0	0,00	1,00
19	48	17	3 : 1	0,05	0,82
20	64	0	1 : 0	0,00	1,00
21	0	67	0 : 1	0,00	1,00
22	52	15	3 : 1	0,24	0,62
23	49	14	3 : 1	0,26	0,61
24	74	0	1 : 0	0,00	1,00
25	72	0	1 : 0	0,00	1,00
26	71	28	3 : 1	0,57	0,45

⁽¹⁾ Probabilidade de sucesso entre as frequências obtidas e esperadas pela hipótese da segregação de um par de alelos.

com genótipo AA. Doze progênies segregaram na proporção de três plântulas tolerantes:uma plântula sensível, apontando que teriam sido originadas de plantas com genótipo Aa.

Os dados da reação à toxicidade de alumínio a 2 mg L^{-1} em soluções nutritivas das plântulas de trigo duro das progênies em geração F_2 do retrocruzamento P33/IAC-1003//P33, estão indicados na tabela 5.

Observaram-se oito progênies sensíveis indicando ter origem de plantas com genótipo aa, na geração anterior. Doze progênies possuíam segregação de três plântulas tolerantes: uma plântula sensível, sugerindo que tenham sido providas de plantas com genótipos Aa.

O parental P33 mostrou ser portador de um gene com dominância do alelo que confere tolerância à toxicidade de alumínio, sendo possível sua transferência de forma simples (segregação mendeliana) nos cruzamentos em que participou. Esse fato é de suma importância uma vez que os melhoristas de trigo duro buscam implementar a tolerância à toxicidade de alumínio nessa espécie (CAMARGO et al., 1992; 1995).

Tabela 4. Reações à toxicidade de alumínio (2 mg L^{-1}) em soluções nutritivas das progênies de trigo duro da geração F_2 do retrocruzamento P33/IAC-1003//P33, expressas em número de plantas tolerantes (T) e número de plantas sensíveis (S) ao alumínio tóxico

Progênies F_2 P33/IAC- 1003//P33	Plantas observadas		Proporção esperada T : S	χ^2	Probabilidade ⁽¹⁾
	T (n.º)	S (n.º)			
1	64	21	3 : 1	0,00	1
2	57	21	3 : 1	0,15	0,70
3	75	32	3 : 1	1,37	0,24
4	100	0	1 : 0	0,00	1
5	82	21	3 : 1	1,17	0,28
6	73	26	3 : 1	0,08	0,78
7	116	0	1 : 0	0,00	1
8	77	19	3 : 1	1,39	0,24
9	75	0	1 : 0	0,00	1
10	71	0	1 : 0	0,00	1
11	55	17	3 : 1	0,07	0,79
12	56	16	3 : 1	0,30	0,58
13	75	19	3 : 1	1,15	0,28
14	69	0	1 : 0	0,00	1
15	48	14	3 : 1	0,19	0,66
16	72	0	1 : 0	0,00	1
17	46	19	3 : 1	0,62	0,43
18	50	16	3 : 1	0,02	0,89
19	105	0	1 : 0	0,00	1

(¹) Probabilidade de sucesso entre as frequências obtidas e esperadas pela hipótese da segregação de um par de alelos.

Tabela 5. Reações à toxicidade de alumínio (2 mg L^{-1}) em soluções nutritivas das progênies de trigo duro da geração F_2 do retrocruzamento P33/IAC-1003//IAC-1003, expressas em número de plantas tolerantes (T) e número de plantas sensíveis (S) ao alumínio tóxico

Progênies F_2 P33/ IAC-1003// IAC-1003	Plantas observadas		Proporção esperada T : S	χ^2	Probabilidade ⁽¹⁾
	T (n.º)	S (n.º)			
1	65	19	3 : 1	0,25	0,62
2	0	85	0 : 1	0,00	1,00
3	68	29	3 : 1	1,24	0,27
4	48	17	3 : 1	0,05	0,82
5	0	73	0 : 1	0,00	1,00
6	1	82	0 : 1	0,01	0,92
7	1	86	0 : 1	0,01	0,92
8	59	17	3 : 1	0,28	0,60
9	0	85	0 : 1	0,00	1,00
10	0	79	0 : 1	0,00	1,00
11	0	91	0 : 1	0,00	1,00
12	0	101	0 : 1	0,00	1,00
13	62	17	3 : 1	0,51	0,48
14	52	20	3 : 1	0,30	0,58
15	56	20	3 : 1	0,07	0,79
16	59	17	3 : 1	0,28	0,60
17	63	17	3 : 1	0,60	0,44
18	59	18	3 : 1	0,11	0,74
19	59	18	3 : 1	0,11	0,74
20	58	21	3 : 1	0,11	0,74

(¹) Probabilidade de sucesso entre as frequências obtidas e esperadas pela hipótese da segregação de um par de alelos.

4. CONCLUSÃO

O genótipo P33 difere da cultivar IAC-1003, provavelmente por um par de alelos com dominância para tolerância à presença de 2 mg L^{-1} de Al^{3+} nas soluções nutritivas. Em um programa de melhoramento visando à obtenção de cultivares de trigo duro adaptadas a solos ácidos, o genótipo P33 pode ser utilizado como fonte de tolerância à toxicidade de alumínio.

AGRADECIMENTO

À Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola – FUNDAG pela concessão de bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

- ANIOL, A. Genetics of tolerance to aluminium in wheat (*Triticum aestivum* L. Thell). *Plant and Soil*, v.123, p.223-227, 1990.
- CAMARGO, C.E.O. Melhoramento do trigo. I. Hereditariedade da tolerância à toxicidade do alumínio. *Bragantia*, v.40, p.33-45, 1981.
- CAMARGO, C.E.O. Controle genético da tolerância do trigo à toxicidade de alumínio em soluções nutritivas. *Bragantia*, v.57, p.215-225, 1998.
- CAMARGO, C.E.O. Herança da tolerância ao alumínio em trigo. *Scientia Agrícola*, v.56, p.429-435, 1999.
- CAMARGO, C.E.O.; FELICIO, J.C.; FREITAS, J.G.; FERREIRA-FILHO, A.W.P. Trigo duro: tolerância à toxicidade de alumínio, manganês e ferro em soluções nutritivas. *Bragantia*, v.54, p.371-383, 1995.
- CAMARGO, C.E.O.; FELÍCIO, J.C.; FERREIRA-FILHO, A.W.P.; LOBATO, M.T.V. Tolerância de genótipos de trigo comum, trigo duro e triticale à toxicidade de alumínio em soluções nutritivas. *Bragantia*, v.65, p.43-53, 2006.
- CAMARGO, C.E.O.; FERREIRA-FILHO, A.W.P.; FELICIO, J.C. Herança da tolerância ao alumínio em populações híbridas de trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.517-522, 2000b.
- CAMARGO, C.E.O.; TULMANN NETO, A.; FERREIRA-FILHO, A.W.P.; FELICIO, J.C. Genetic control of aluminum tolerance in mutant lines of the wheat cultivar Anahuac. *Euphytica*, v.114, p.47-53, 2000a.
- CAMARGO, C.E.O.; OLIVEIRA, O.F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e solo. *Bragantia*, v.40, p.21-31, 1981.
- CAMARGO, C.E.O.; SANTOS, R.R.; PETTINELLI-JUNIOR, A. Trigo duro: tolerância à toxicidade do alumínio em soluções nutritivas e no solo. *Bragantia*, v.51, p.69-76, 1992.
- EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). Cerrados informa. Disponível em: <http://>

www.cpac.embrapa.br/jornal/cerrados_informa_8808.pdf
Acesso em: 4/9/2008.

FERREIRA, R.P.; SEDIYAMA, C.S.; CRUZ, C.D.; FREIRE, M.S. Herança da tolerância à toxidez de alumínio em arroz baseada em análises de médias e variâncias. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.32, p.509-515, 1997.

KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum resistance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v.46, p.237-260, 1995.

LAFEVER, H.N.; CAMPBELL, L.G.; FOY, C.D. Differential response of wheat cultivars to Al. *Agronomy Journal*, v.69, p.563-568, 1977.

MARTINS, P.R.; PARENTONI, S.N.; LOPES, M.A.; PAIVA, E. Eficiência de índices fenotípicos de comprimento de raiz

seminal na avaliação de plantas individuais de milho quanto à tolerância ao alumínio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.1897-1904, 1999.

MOORE, D.P. Physiological effects of pH on plant roots. In: CARSON, E.W. (Ed.). *The plant root and its environment*. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p.135-151.

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, 1976. *Proceedings...* Ithaca: Cornell University, 1976. p.287-295.

SÁNCHEZ-CHACÓN, C.D.; FEDERIZZI, L.C.; MILACH, S.C.K.; PACHECO, M.T. Variabilidade genética e herança da tolerância à toxicidade do alumínio em aveia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.1797-1808, 2000.