

# CARACTERES ASSOCIADOS A TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO TÓXICO EM GENÓTIPOS DE TRIGOS SUL BRASILEIROS

## TRAITS ASSOCIATED TO TOXIC ALUMINUM TOLERANCE IN WHEAT GENOTYPES FROM SOUTHERN BRAZIL

BERTAN, Ivandro<sup>1</sup>; CARVALHO, Fernando I. F. de<sup>2</sup>; OLIVEIRA, Antonio C<sup>2</sup>; OLIVEIRA, Paulo H. de<sup>3</sup>; SILVA, José A.G. da<sup>4</sup>; BENIN, Giovani<sup>4</sup>; SILVA, Giovani O. da<sup>1</sup>; HARTWIG, Irineu<sup>1</sup>; PADILHA, Eduardo B.<sup>5</sup>

### RESUMO

Através de medidas de retomada do crescimento de raiz é possível discriminar genótipos tolerantes e sensíveis ao alumínio tóxico em plantas de trigo ainda em fase inicial de desenvolvimento sob cultivo hidropônico. Desse modo, o objetivo do trabalho foi testar variáveis associadas a tolerância ao alumínio tóxico em plântulas de trigo cultivadas em sistema hidropônico utilizando linhagens e cultivares desenvolvidas na Região Sul do Brasil. As variáveis avaliadas não apresentaram associação que justifique o emprego de seleção indireta para recrescimento de raiz. A metodologia testada possibilita discriminar genótipos sensíveis e tolerantes ao alumínio tóxico, revelando presença de variabilidade genética para este caráter no conjunto dos genótipos avaliados.

*Palavras-chave:* seleção indireta, recrescimento de raiz, *Triticum aestivum* L.

### INTRODUÇÃO

No intuito de aumentar a área cultivada, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos visando melhorar a adaptabilidade a áreas consideradas marginais, através do desenvolvimento de cultivares tolerantes ao alumínio tóxico ( $Al^{3+}$ ), o que possibilita melhor aproveitamento de avanços tecnológicos e potencial genético do cultivo do trigo (SILVA 2003).

Na maioria dos solos brasileiros, o teor de alumínio livre frequentemente atinge níveis tóxicos para as plantas, sendo muitas vezes, fator limitante ao aumento da produtividade das culturas. O efeito tóxico pode manifestar-se pela limitação do desenvolvimento do sistema radicular, e pela interferência na absorção, transporte e utilização de nutrientes (SILVA et al 1984). O alumínio em solos com pH baixo, geralmente menor que 5,0, provoca decomposição nas estruturas minerais da argila migrando para a fração trocável ou para a solução do solo. Entretanto, este alumínio nas camadas superficiais dos solos ácidos, pode ser precipitado com o uso da calagem, podendo, porém, permanecer solúvel no subsolo e tóxico às plantas, restringindo o crescimento das raízes principalmente dos genótipos sensíveis (FOY et al 1978; CAMARGO & OLIVEIRA 1981).

A avaliação a campo para reação ao alumínio é a mais utilizada pelos melhoristas, por possibilitar adaptação ao

ambiente e a seleção múltipla em caracteres agronômicos de interesse; entretanto, pode apresentar o inconveniente de reunir um grande número de variáveis não controláveis (FURLANI & CLARK 1981), interferindo negativamente na precisão experimental. Neste sentido, o emprego de solução nutritiva e  $Al^{3+}$  em cultivo hidropônico, permite imediata observação dos efeitos pela inibição do crescimento da raiz, evitando os inconvenientes do uso de solo, onde a intensidade de seleção não pode ser quantitativamente controlada. Com a medida da retomada do crescimento da raiz após o tratamento com alumínio na solução, é possível discriminar fenotipicamente os genótipos tolerantes ou sensíveis (CAMARGO & OLIVEIRA 1981; ANIOL 1990; MINELLA & SORRELS 1992; CAMARGO et al 1992; RIEDE & ANDERSON 1996) e segundo CAMARGO & OLIVEIRA (1981), a dose de 10 ppm tem sido mais empregada para alcançar níveis tóxicos do alumínio as plantas de trigo (DORNELLES et al 1997).

Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram de quantificar a presença de variabilidade genética para tolerância ao alumínio tóxico em genótipos de trigos da região sul do Brasil através do cultivo hidropônico bem como observar a presença de caracteres associados com o caráter recrescimento de raiz, visando a seleção indireta.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Di-haplóides e Hidroponia do Centro de Genômica e Fitomelhoramento da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel/Universidade Federal e Pelotas (FAEM/UFPe), município de Capão do Leão.

Foram avaliados os genótipos CD 103, CD 104, CD 105, CD 106, CD 107, CD 108, CD 109, CD 110 e CD 111 desenvolvidos pela COODETEC (Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola), BRS 177, BRS 208 e BRS 220 desenvolvidos pela EMBRAPA – Trigo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), IPR 85, IPR 87, IPR 110 desenvolvidos pelo IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná) e também ICA 2, ICA 5, Biesek, ICAT 011, ICAT 012 e ICAT 01338 desenvolvidos por ICA Melhoramento Genético Ltda (ICA – Isidoro Carlos Assmann). Além destes, foram também avaliados no trabalho os genótipos CEP 24 - Industrial e

<sup>1</sup> Eng. Agr., estudante do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitomelhoramento) em nível de mestrado, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPe).

<sup>2</sup> Eng. Agr., Ph.D, prof. do Depto de Fitotecnia (Fitomelhoramento) da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPe).

<sup>3</sup> Eng. Agr., Dr, prof. do Curso de Agronomia no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Unidade de Pato Branco (CEFET – PR).

<sup>4</sup> Eng. Agr., doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitomelhoramento), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPe).

<sup>5</sup> Estudante do Curso de Agronomia, estagiário no departamento de Fitomelhoramento da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPe).

Sonora 64 como padrões de tolerância e sensibilidade ao  $Al^{3+}$ , respectivamente.

As sementes, depois de desinfetadas em solução de hipoclorito de sódio a 20% do produto comercial (Q.boa) por aproximadamente 15 minutos, foram colocadas em gerbox sobre papel de germinação umedecido com água e levadas para câmara de crescimento na temperatura de 25° C, por dois dias para iniciar o processo de germinação.

Utilizaram-se dez plântulas de cada genótipo por repetição, num total de três repetições, onde cada um dos genótipos com raiz de aproximadamente 2 mm, foram colocadas sobre uma tela de plástico adaptada à tampa de um recipiente de 5,5 litros de capacidade, empregando solução nutritiva completa, conforme CAMARGO & OLIVEIRA (1981) e DORNELLES (1994) por um período de 48 horas. Os recipientes foram colocados em um tanque banho-maria a uma temperatura de 25 ±1°C, com iluminação artificial e aeração permanente. Após 48 horas em solução nutritiva completa, as tampas com os genótipos foram trocadas para os baldes com solução contendo 10% da concentração de nutrientes utilizadas na solução nutritiva completa, exceto fósforo, que foi omitido para evitar a precipitação de  $Al^{3+}$ . O pH foi ajustado para 4,0 ± 0,3, e o tratamento com alumínio tóxico foi na concentração de 10 ppm, com as plântulas permanecendo por um período de 48 horas em contato com a solução tratamento. Passado esse período, os genótipos foram submetidos novamente à solução nutritiva completa por mais 72 horas, proporcionando a retomada do crescimento das raízes.

Terminado este procedimento, foram avaliados os seguintes caracteres: retomada do crescimento de raiz (RR), número de raízes (NR), comprimento total das raízes (CR), comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF), que foi tomada da base do colmo até a altura do encontro de inserção da 1ª folha; comprimento da 1ª folha

(CPF) e 2ª folha (CSF) e altura da plântula (EPH), medida a partir da base ao ápice. As informações sobre estatura de planta em condições de campo (EPC) foram obtidas junto às entidades de pesquisa que desenvolveram os genótipos avaliados sendo que as cultivares são registradas no Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAA).

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e comparação de médias pelo teste de Scott e Knott (SCOTT & KNOTT 1974) utilizando o programa computacional Genes (CRUZ 2001). As estimativas de correlações genéticas ( $r_G$ ), fenotípica ( $r_P$ ) e de ambiente ( $r_E$ ) foram obtidas através do quadrado médio esperado, conforme CARVALHO et al (2004). A contribuição relativa das variáveis avaliadas para a dissimilaridade apresentada entre os genótipos foi baseada na estatística de SINGH (1981).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O quadrado médio (QMT) das variáveis avaliadas (Tabela 1), revelaram diferenças significativas ( $P>0,01$ ) para a maioria as variáveis analisadas, exceto para o número de raízes e crescimento do coleóptilo, sendo indicativo da presença de variabilidade genética, que também pode ser comprovado pela elevada magnitude dos valores de dispersão.

Os dados apresentados na Tabela 2 permitem observar que as variáveis retomada do crescimento de raiz (RR), estatura de planta a campo (EPC) e de plântula em hidroponia (EPH) foram as que melhor diferenciaram os genótipos testados. Os caracteres RR e EPC possibilitaram a formação de 8 a 9 grupos pelo teste de Scott e Knott, respectivamente, evidenciando a presença de variabilidade genética. Da mesma forma, BENIN et al (2004), avaliando genótipos de aveia, encontraram valores de recrescimento que permitem perfeita discriminação entre os genótipos tolerantes e sensíveis.

Tabela 1 - Resumo das análises de variância para as variáveis indicativas de tolerância ao Alumínio Tóxico na concentração de 10 ppm de  $Al^{3+}$ , Pelotas, FAEM/UFPEL, 2004.

FV	GL	QMT								
		RR	CR	NR	EPC	EPH	CC	IPF	CPF	CSF
Blocos	2	0,74	0,01	0,01	39,59	0,02	0,03	0,07	0,25	1,7
Genótipos	22	539*	5,11*	0,84	443,56*	17,96*	0,27	3,51*	7,20*	7,72*
Erro	44	4,36	0,47	0,15	10,22	0,51	0,02	0,17	0,35	0,5
Dispersão		1,0	4,2	4,0	62,0	14,3	2,2	3,1	10,7	6,3
		41,0	10,7	6,0	125,0	25,8	3,8	8,6	18,0	15,5
CV		15,7	10,2	7,9	3,8	3,8	5,1	7,9	4,4	7,7

\* Significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F; (FV) Fontes de variação, (GL) Graus de liberdade, (QMT) Quadrado médio de tratamento, (RR) Retomada do crescimento de raiz, (CR) Comprimento de raízes, (NR) Número de raízes por plântula, (EPC) Estatura de planta a campo, (EPH) Estatura de plântula em hidroponia, (CC) Comprimento do coleóptilo, (IPF) Inserção da primeira folha, (CPF) Comprimento da 1ª folha, (CSF) Comprimento da 2ª folha e (CV) Coeficiente de variação.

As variáveis avaliadas na parte aérea das plântulas apresentaram menor diferenciação de classes, possivelmente devida à menor presença de variabilidade genética no conjunto de genótipos avaliados para estes caracteres.

Os genótipos ICAT 01338 e ICAT 011 foram os que apresentaram maiores valores de retomada do crescimento das raízes, 37,3 mm e 36,5 mm, respectivamente, indicando serem as mais tolerantes, superando o valor de recrescimento

de raízes apresentado pela testemunha CEP 24 (Tolerante). Os genótipos ICA 2 (32,7 mm), ICA 5 (32,0 mm), CD 106 (28,3 mm) e BRS 220 (27,3 mm) também apresentaram valores elevados de RR e podem ser enquadradas como fonte de tolerância ao alumínio tóxico. Valores intermediários foram verificados nos genótipos CD 103, ICAT 012, IPR 85, CD 105 e IPR 110 com retomada do crescimento de raiz variando entre 20,0 mm e 13,3 mm, sendo classificados como de

tolerância intermediária. Os demais genótipos, cujos valores de recrescimento de raiz ficaram entre 1,1 mm e 1,9 mm, são classificados como os mais sensíveis dentro do grupo avaliado; essas medidas correspondem ao engrossamento na

extremidade das raízes visto como ponto de dano causado pelo efeito tóxico do alumínio, não caracterizando potencial de tolerância.

Tabela 2 - Comparação de médias entre 23 genótipos avaliados para variáveis indicativas de tolerância ao alumínio tóxico, submetidos a 10 ppm de  $Al^{3+}$ , Pelotas, FAEM/UFPEL, 2004.

Genótipos	RR	CR	NR	EPC	EPH	CC	IPF	CPF	CSF
CD 103	20,0 d	9,4 a	4,3 a	85 d	23,0 b	3,0 a	6,2 b	16,2 a	9,6 b
CD 104	1,1 h	5,8 b	4,5 a	81 e	18,0 d	2,8 a	5,4 c	12,7 c	10,6 b
CD 105	15,3 f	8,9 a	4,4 a	82 e	20,7 c	2,7 a	5,8 c	15,0 b	9,1 c
CD 106	28,3 c	7,5 a	5,3 a	81 e	19,0 d	2,5 a	4,7 c	14,4 b	8,3 c
CD 107	1,1 h	6,8 b	4,4 a	88 c	18,5 d	2,8 a	5,8 c	13,1 c	7,9 c
CD 108	1,1 h	5,3 b	5,2 a	67 i	16,4 e	2,3 a	4,4 c	11,5 c	7,8 c
CD 109	1,9 h	5,5 b	4,8 a	72 h	17,5 d	2,8 a	5,4 c	12,1 c	8,5 c
CD 110	1,2 h	5,6 b	5,0 a	81 e	18,8 d	2,9 a	4,9 c	13,1 c	9,8 b
CD 111	1,1 h	6,7 b	4,8 a	82 e	18,0 d	2,9 a	4,8 c	13,3 c	7,9 c
BRS 177	1,1 h	6,8 b	5,9 a	85 d	17,8 d	2,9 a	5,1 c	12,9 c	8,9 c
BRS 208	1,2 h	5,6 b	5,1 a	89 c	22,5 b	3,1 a	7,5 a	15,2 b	10,5 b
BRS 220	27,3 c	8,7 a	4,3 a	84 d	18,0 d	2,4 a	4,5 c	12,9 c	10,0 b
IPR 85	15,3 f	5,8 b	5,8 a	85 d	17,4 d	2,7 a	5,1 c	12,4 c	9,4 b
IPR 87	1,1 h	6,8 b	4,9 a	89 c	19,3 d	2,7 a	6,2 b	13,3 c	9,4 b
IPR 110	13,3 g	5,8 b	5,7 a	74 g	19,4 d	2,6 a	4,9 c	14,6 b	11,4 b
ICA 2	32,7 b	8,5 a	4,5 a	115 b	21,4 c	3,1 a	5,4 c	16,1 a	9,6 b
ICA 5	32,0 b	6,8 b	4,4 a	85 d	17,9 d	2,6 a	4,7 c	12,4 c	6,8 c
BIESEK	1,2 h	4,7 b	4,1 a	65 j	14,5 f	2,5 a	3,2 c	11,1 c	6,6 c
ICAT 011	36,5 a	8,0 a	4,5 a	82 e	18,3 d	2,8	5,4 c	13,2 c	10,6 b
ICAT 012	17,7 e	6,1 b	4,5 a	85 d	20,0 d	3,2 a	5,8 c	13,9 c	8,9 c
ICAT 01338	37,3 a	8,2 a	5,1 a	79 f	16,2 e	2,6 a	4,0 c	12,4 c	8,3 c
CEP 24	16,7 f	5,4 b	5,5 a	125 a	25,4 a	3,7 a	8,3 a	17,3 a	13,9 a
SONORA 64	1,1 h	6,7 b	5,5 a	85 d	16,3 e	2,8 a	4,5 c	13,0 c	7,7 c
Média	13,29	6,76	5,02	84,61	18,88	2,8	5,30	13,57	9,20

\* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste F a 5% de probabilidade de erro e (RR) Retomada do crescimento de raiz, (CR) Comprimento de raízes, (NR) Número de raízes por plântula, (EPC) Estatura de planta a campo, (EPH) Estatura de plântula em hidroponia, (CC) Crescimento do coleóptilo, (IPF) Altura de inserção da primeira folha, (CPF) Comprimento da 1ª folha e (CSF) Comprimento da 2ª folha, medidos em centímetros.

A diferenciação das classes tolerante, intermediária e sensível, nos genótipos de trigos avaliados cuja origem é a região sul do Brasil, pode estar diretamente relacionada às diferenças de características do solo existentes. Em muitos locais do sul do país é comum a ocorrência de solos ácidos com a presença de alumínio em níveis que causam toxidez, como é o caso da Região Sudoeste do Estado do Paraná onde se localiza o programa de melhoramento que

desenvolveu e selecionou os genótipos com maior potencial de tolerância ao alumínio tóxico, observado na Tabela 2 (ICAT 01338 e ICAT 011). Esses resultados confirmam a hipótese de ANDRADE (1976), que a tolerância ao alumínio tóxico está intimamente ligada à origem de cada genótipo e que dificilmente um genótipo criado e desenvolvido sem pressão de seleção para tolerância a níveis tóxicos de alumínio terá em sua constituição genes para o caráter.

Tabela 3 - Coeficiente de correlação fenotípica ( $r_F$ ), genotípica ( $r_G$ ) e de ambiente ( $r_E$ ) entre as variáveis indicativas de tolerância ao alumínio tóxico, submetidas a 10 ppm de  $Al^{3+}$ , Pelotas, FAEM/UFPEL, 2004.

		CR	NR	EPC	EPH	CC	IPF	CPF	CSF
RR	( $r_F$ )	0,63*	-0,21	0,28	0,16	-0,04	-0,08	0,26	0,12
	( $r_G$ )	0,64*	-0,21	0,28	0,16	-0,05	-0,09	0,26	0,11
	( $r_E$ )	0,60*	-0,35	-0,08	0,25	0,25	0,17	0,13	0,38
CR	( $r_F$ )		-0,33	0,22	0,22	-0,07	-0,02	0,34	-0,01
	( $r_G$ )		-0,35	0,23	0,20	-0,12	-0,04	0,34	-0,05
	( $r_E$ )		-0,23	-0,03	0,58*	0,39	0,27	0,52*	0,37
NR	( $r_F$ )			0,08	0,02	0,11	0,12	0,06	0,29
	( $r_G$ )			0,09	0,01	0,12	0,1	0,06	0,3
	( $r_E$ )			0,04	0,16	0,04	0,34	0,03	0,20
EPC	( $r_F$ )				0,73*	0,75*	0,67*	0,74*	0,56*
	( $r_G$ )				0,75*	0,79*	0,69*	0,76*	0,58*
	( $r_E$ )				-0,02	0,01	0,04	0,11	0,12
EPH	( $r_F$ )					0,76*	0,88*	0,94*	0,72*
	( $r_G$ )					0,79*	0,90*	0,95*	0,74*
	( $r_E$ )					0,38	0,49*	0,72*	0,38
CC	( $r_F$ )						0,78*	0,71*	0,59*
	( $r_G$ )						0,81*	0,74*	0,62*
	( $r_E$ )						0,31	0,33	0,17
IPF	( $r_F$ )							0,73*	0,71*
	( $r_G$ )							0,77*	0,72*
	( $r_E$ )							0,18	0,57*
CPF	( $r_F$ )								0,67*
	( $r_G$ )								0,70*
	( $r_E$ )								0,19

\* Significativo a 5% de probabilidade pelo erro teste t e (RR) Retomada do crescimento de raiz, (CR) Crescimento de raízes, (NR) Número de raízes por plântula, (EPC) Estatura de planta a campo, (EPH) Estatura de plântula em hidroponia, (CC) Crescimento do coleóptilo, (IPF) Altura de inserção da primeira folha, (CPF) Comprimento da 1ª folha, (CSF) Comprimento da 2ª folha, ( $r_F$ ) Correlação fenotípica, ( $r_G$ ) Correlação genética e ( $r_E$ ) Correlação de ambiente.

Os trigos testados para tolerância ao alumínio tóxico foram utilizados para comparar o coeficiente de correlação entre as variáveis analisadas, objetivando verificar a influência de uma variável sobre a outra, determinando sua magnitude e direção de associação e, conseqüentemente, a possibilidade de seleção indireta.

Para os caracteres avaliados na concentração de 10 ppm de  $Al^{3+}$ , foram constatadas associações significativas importantes entre RR x CR (0,63), APC x EPH (0,73), CC x EPC (0,75), IPF x EPC (0,67), CPF x EPC (0,76), CSF x EPC (0,56), EPH x CC (0,76), IPF x EPH (0,88), CPF x EPH (0,94), CSF x EPH (0,72), CC x IPF (0,78), CC x CPF (0,71), CC x CSF (0,59), IPF x CPF (0,73), IPF x CSF (0,72) e CPF x CSF (0,67) conforme demonstrado na Tabela 3. Nessas associações, existe uma boa concordância e magnitude entre a  $r_P$  e a  $r_G$ , devido à correlação de ambiente ter sido, em sua maioria, não significativa; entretanto, em algumas condições a presença de significância para correlação de ambiente indica a necessidade de um maior controle de técnicas experimentais.

É possível observar que o RR mostrou associação significativa somente com a variável comprimento de raízes (+ 0,63) o que poderia indicar a possibilidade de substituição do recrescimento de raiz por medidas do comprimento total das raízes, entretanto, a correlação residual evidenciada (0,60) foi significativa, indicando grande participação de efeitos não genéticos expressando uma associação de baixa herdabilidade. Para FALCONER et al (1987), o ambiente torna-se causa de correlações quando dois caracteres são influenciados pelas mesmas diferenças de condições de

ambiente. Assim, em estudos genéticos é indispensável distinguir e quantificar o grau de associação genética e de ambiente entre as variáveis, reduzindo os erros na seleção indireta nos programas de melhoramento.

As demais variáveis avaliadas na parte aérea das plântulas não apresentaram associações significativas com a retomada do crescimento de raiz, não fornecendo subsídios para quantificação da tolerância ao alumínio tóxico em cultivo hidropônico. Dessa forma, fica evidenciado que a única variável de efetiva confiabilidade para discriminação de genótipos tolerantes e suscetíveis ao alumínio tóxico em sistema hidropônico é o recrescimento de raiz.

A contribuição relativa de cada variável para a dissimilaridade genética observada na Tabela 4, permite identificar que o recrescimento de raiz foi que mais contribuiu para explicar a dissimilaridade genética entre os genótipos avaliados, contribuindo com 61,18% para a dissimilaridade total. Isto comprova que os genótipos de trigos avaliados são dissimilares quanto ao nível de tolerância ao alumínio tóxico, sendo uma fonte de germoplasma de qualidade para programas de melhoramento que necessitam incorporar este caráter em seus genótipos. As variáveis estatura de plântula em hidroponia e estatura de planta a campo também contribuíram com valores consideráveis para a dissimilaridade total, com 13,33 e 12,51%. Entretanto, estas não foram associadas com a retomada do crescimento de raiz, visto na Tabela 3, o que inviabiliza sua utilização na discriminação de genótipos tolerantes e sensíveis ao alumínio tóxico.

Tabela 4 - Contribuição relativa das variáveis avaliadas para a dissimilaridade apresentada entre os genótipos de trigos submetidos a 10 ppm de  $Al^{3+}$ . Pelotas, FAEM/UFPEL, 2004.

Variáveis	Dissimilaridade genética		
	$S_1 v^1$	%	% acumulada
Retomada do crescimento de raiz	38,586,01	61,18	61,18
Estatura de plântula em hidroponia	8405,67	13,33	74,51
Estatura de planta a campo	7888,93	12,51	87,02
Comprimento da segunda folha	2102,37	3,33	90,35
Inserção da primeira folha	2079,54	3,30	93,65
Comprimento do coleóptilo	2037,81	3,23	96,88
Comprimento da primeira folha	1379,46	2,19	99,07
Número de raízes	480,39	0,76	99,87
Crescimento das raízes	111,13	0,18	100,0

## CONCLUSÕES

Os genótipos avaliados sob cultivo hidropônico apresentam variabilidade para tolerância ao alumínio tóxico, a 10 ppm de  $Al^{3+}$ , proporcionando a classificação dos genótipos em tolerantes, intermediários e suscetíveis.

As variáveis avaliadas na parte aérea das plântulas não apresentam associação com o caráter recrescimento de raiz; portanto, a seleção de plantas mais tolerantes ao alumínio tóxico deve ser realizada através da avaliação direta do caráter recrescimento de raiz.

Os genótipos ICAT 01338, ICAT 011, ICA 2, ICA 5, CD 106 e BRS 220 são recomendados como fonte de tolerância ao alumínio tóxico para utilização em programas de melhoramento genético de trigo.

## ABSTRACT

*Through measures of root increase it is possible to discriminate tolerant and sensitive wheat genotypes to toxic aluminum in early stages of development under hydroponic culture. The objective of the*

*present paper was to test associated traits to the tolerance to toxic aluminum in seedlings stage cultivated under hydroponic system using genotypes developed in the Brazilian Southern Region. The evaluated variables did not present association that justify indirect selection for root increase. The tested methodology makes possible to discriminate sensitive and tolerant genotypes to toxic aluminum, indicating the presence of genetic variability for this trait in the evaluated set of genotypes.*

*Key words: indirect selection, root regrowth, **Triticum aestivum L.***

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. M. V. **Identificação e seleção em casa de vegetação, de genótipos de trigo (*Triticum aestivum L.*) tolerantes ao alumínio e ao manganês com modificações das características químicas do solo.** Porto Alegre. RS. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1976.

- ANIOL, A. Genetics of tolerance to aluminum in Wheat (*Triticum aestivum* L.) **Plant Soil**, Wageningen, v. 123, p. 223 – 227, 1990.
- BENIN, G.; CARVALHO, F.I.F. de; OLIVEIRA, A. C. *et al.* Uma proposta de seleção para caracteres quantitativos e qualitativos em aveia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p. 701-706, 2004.
- CAMARGO, DE O. C. E.; OLIVEIRA, O. F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. **Bragantina**, Campinas, v. 40, p.21 –23, 1981.
- CAMARGO DE O.C.E.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; ROCHA JUNIOR, L.S. Melhoramento de trigo XXVII. Estimativas de variância, herdabilidade e correlações em populações híbridas, para a produção de grãos, tolerância à toxicidade do alumínio e altura de plantas. **Bragantina**, Campinas, v.51, n.1, p.21-30, 1992.
- CARVALHO, F.I.F. de; LORENCETTI, Cláudio ; BENIN, Giovani. **Estimativas e Implicações da Correlação no Melhoramento Vegetal**. Pelotas: Ed. Universitária de UFPEL, 2004. 142 p.
- CRUZ, C.D. **Programa genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.
- DORNELLES, C.A.L. **O uso da cultura de tecidos na geração de variabilidade para tolerância à toxicidade do alumínio e sensibilidade ao ácido giberélico em trigo (*Triticum aestivum* L.)**. Porto Alegre, 1994, 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Fitotecnia) Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- DORNELLES, A.L.C.; CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C.; SERENO, M.J.C.; AMARAL, A.; MITTELMANN, A. Avaliação simultânea para tolerância ao alumínio e sensibilidade ao ácido giberélico em trigo hexaplóide. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.9, p. 893-896, 1997.
- FALCONER, D.S. **Introdução a genética quantitativa**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1987. 279p.
- FOY, G.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants, **Annual Review Plant Physiology**, Bethesda, v.29, p.511-566, 1978.
- FURLANI, P.R.; CLARK, R.B. Screening sorghum for aluminium tolerance in nutrient solution. **Agronomy Journal**, Madison, v.73, n.4, p.587-594, 1981.
- MINELLA, E.; SORRELLS, M.E. Aluminium tolerance in barley: genetic relationships among genotypes of diverse origin. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 593 – 598, 1992.
- RIEDE, C.R.; ANDERSON, J. A. Linkage of RFLP markers to an aluminum tolerance gene in wheat. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 905 – 909, 1996.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M.A. Cluster Analysis methods for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v.30, p.507-512, 1974.
- SILVA, J.B.C. da; NOVAIS, R.F. de; SEDIYAMA, C.S. Comportamento de genótipos de soja em solo com alta saturação de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.19, n.3, p.287-298, 1984.
- SILVA, J.A.G. **Produção de haplóides e obtenção de di-haplóides em trigo submetidos a cultura hidropônica para seleção de caracteres de importância agrônômica**. Pelotas: UFPEL. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Fitomelhoramento – FAEM/UFPEL)Pelotas, 2003).
- SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetic & Plant Breeding**, New Delhi, v.41, p.237-245, 1981.