

# TOLERÂNCIA À TOXICIDADE POR ALUMÍNIO EM CULTIVARES DE AVEIA (*Avena sativa* L.) SOB CULTIVO HIDROPÔNICO

## TOLERANCE TO ALLUMINUM TOXICITY IN OAT (*Avena sativa* L.) IN HIDROPONIC CULTIVATION

José Antonio Gonzalez da Silva<sup>1</sup>; Fernando Irajá Félix de Carvalho<sup>2</sup>; Jefferson Luis Meirelles Coimbra<sup>1</sup>; Giovani Benin<sup>1</sup>; Antonio Costa de Oliveira<sup>2</sup>; Eduardo Alano Vieira<sup>5</sup>; Taciane Finatto<sup>4</sup>; Ivandro Bertan<sup>3</sup>; Giovani Olegário da Silva<sup>3</sup>; Sandra Müller Garcia<sup>6</sup>

### RESUMO

O cultivo hidropônico permite avaliar a tolerância de genótipos de aveia à toxicidade ao alumínio por meio da medida da retomada do crescimento de raiz, separando fenotipicamente, os genótipos como tolerantes e sensíveis. Dez cultivares de aveia branca recomendadas para o cultivo no Sul do Brasil foram avaliadas para quantificar a tolerância ao alumínio, de modo que possam ser estrategicamente recomendados e/ou indicados para compor blocos de cruzamento na obtenção de constituições genéticas de elevado potencial produtivo e tolerante ao alumínio tóxico. Foram utilizados doses de 10, 15 e 20 mg L<sup>-1</sup> de alumínio na solução e o delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com três repetições. As doses de 15 e 20 mg L<sup>-1</sup> de alumínio em solução nutritiva foram eficientes na identificação de genótipos de aveia tolerantes e sensíveis. As cultivares UPF 17, UFRGS 20 e URS 21 apresentaram elevada tolerância, podendo ser utilizadas em hibridações com genótipos de elevado potencial de rendimento de grãos.

Palavras-chave: retomada do crescimento, regressão, solução nutritiva.

### ABSTRACT

The use of hydroponic culture allows the evaluation of tolerance to aluminum toxicity in oat genotypes through the measure of recapture of root growth, separating, phenotypically, the genotypes as tolerant and sensitive. Ten oat cultivars (*Avena sativa* L.) recommended for cultivation in Southern Brazil were screened with to quantify the aluminum tolerance, aiming to assess the best genotypes for critical areas or for use as parents in crosses to obtain high yielding genotypes with aluminum tolerance. Aluminum doses of 10, 15 and 20 mg L<sup>-1</sup> were used in hydroponic solution in a randomized complete block design with three replications. The doses of 15 and 20 mg L<sup>-1</sup> were efficient in discriminating tolerant and sensitive genotypes and cultivars UPF 17, UFRGS 20 and URS 21 presented high tolerance, being indicated for crosses with high yielding genotypes.

Key words: root growth recapture, regression, nutritive solution.

### INTRODUÇÃO

Na maioria dos solos brasileiros, os teores de alumínio (Al<sup>3+</sup>) freqüentemente atingem níveis tóxicos para as plantas.

Sua toxicidade é, geralmente, o fator limitante no aumento da produtividade das culturas em solos ácidos. O seu efeito tóxico manifesta-se pela limitação no desenvolvimento do sistema radicular, bem como por sua interferência na absorção, transporte e utilização de nutrientes (SILVA et al., 1984). Além disto, as raízes danificadas pelo acúmulo de Al<sup>3+</sup> tóxico apresentam a região meristemática engrossada e de coloração mais escura, que segundo FOY & FLEMING, (1978), são ineficientes na absorção de nutrientes e água.

A avaliação a campo para reação ao alumínio tóxico é a mais utilizada pelos melhoristas, principalmente por possibilitar adaptação gradativa dos genótipos ao ambiente e permitir de maneira direta a seleção múltipla em vários caracteres de interesse agrônomico. Entretanto, pode apresentar o inconveniente de reunir grande número de variáveis não controláveis, principalmente pela grande heterogeneidade do solo (FURLANI & CLARK, 1981).

Uma técnica eficaz para avaliar a tolerância a toxicidade ao Al<sup>3+</sup> é o emprego do cultivo hidropônico utilizando soluções nutritivas em laboratório e identificação da sensibilidade do genótipo por meio da medida da retomada do crescimento (CAMARGO & OLIVEIRA, 1981; DORNELLES, 1994). Desse modo, medindo o recrescimento da raiz após o tratamento com alumínio, é possível discriminar fenotipicamente os genótipos como tolerantes ou sensíveis (CAMARGO & OLIVEIRA, 1981; ANIOL, 1990; MINELLA & SORRELS, 1992; CAMARGO et al., 1992; RIEDE & ANDERSON, 1996; SILVA, et al.; 2004).

Entre as alternativas para controlar o problema da toxicidade de alumínio no solo está a correção da acidez pela aplicação de calcário. Entretanto, nas áreas distantes das fontes de calcário os custos podem ser economicamente inviáveis limitando sua aplicação. Para OLIVEIRA (2002) a alternativa mais promissora para reduzir os efeitos tóxicos do Al<sup>3+</sup> é a exploração do potencial genético das culturas, pois as espécies e cultivares diferem amplamente nos níveis de tolerância ao excesso do elemento no solo. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi quantificar a tolerância ao alumínio tóxico em diferentes cultivares de aveia de modo que possam ser estrategicamente recomendadas e/ou indicadas para compor blocos de cruzamento para obtenção de plantas com

<sup>1</sup> Eng. Agrº; estudante do Curso de Pós-Graduação em Agronomia (Fitomelhoramento) em nível de Doutorado, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas(UFPel).

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

<sup>3</sup> Eng. Agr; estudante do Curso de Pós-Graduação em Agronomia (Fitomelhoramento) em nível de mestrado, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPel).

<sup>4</sup> Estudante de Graduação em Biologia e Bolsista CNPq-PIBIC (Fitomelhoramento) da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPel).

<sup>5</sup> Eng. Agr., Dr. Pesquisador da Embrapa Cerrados (CPAC)

<sup>6</sup> Estudante do curso de Graduação em Agronomia e estagiária (Fitomelhoramento) da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPel).

constituições genéticas de elevado potencial produtivo e tolerante ao alumínio tóxico.

## MATERIAL E MÉTODOS

No ano de 2003, dez cultivares de aveia branca recomendadas pela Comissão Sul Brasileira de Pesquisa de Aveia foram utilizados para avaliar os níveis de tolerância à toxicidade ao  $Al^{3+}$ . O experimento foi conduzido no laboratório de Di-haplóides e Hidroponia pertencente ao Centro de Genômica e Fitomelhoramento da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – Universidade Federal de Pelotas, utilizando a técnica descrita por CAMARGO & OLIVEIRA (1981) e adaptado por DORNELLES et al. (1997).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com três repetições e para a avaliação das dez cultivares foram empregadas três doses de  $Al^{3+}$  na concentração de 10, 15 e 20 mg L<sup>-1</sup>. As sementes foram desinfestadas com hipoclorito de sódio (20% do produto comercial e 80% H<sub>2</sub>O) por cinco minutos e lavadas com água destilada para retirar o excesso do produto desinfestante. Após, foram colocadas em Gerbox e levadas a BOD, com temperatura de 20°C e com iluminação permanente, por 48 horas para germinação. As sementes germinadas, com aproximadamente 2 mm de raiz, foram transportadas para tela plástica adaptada à tampa de um recipiente (balde) de plástico, com capacidade para 5,5 litros, contendo solução nutritiva. Os baldes foram levados a um tanque de metal para que ficassem em banho maria a temperatura de 25°C, com iluminação permanente, e sendo ligados a sistema de aeração para fornecer oxigênio às raízes. Ao completar 48 horas em solução nutritiva, as tampas com as plântulas foram transferidas para solução nutritiva com  $Al^{3+}$  nas concentrações de 10, 15 e 20 mg L<sup>-1</sup>, permanecendo por 48 horas e retornando as soluções nutritivas normais, ficando por mais 72 horas. A avaliação do caráter tolerância ao  $Al^{3+}$  tóxico foi feita pela medição da retomada do crescimento da raiz (REC) avaliado com auxílio de régua graduada, a partir do ponto de dano causado pela toxicidade do  $Al^{3+}$  na raiz principal.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância para verificar interação entre os fatores. Para comparação de médias foi utilizado o teste de Tukey para classificar os genótipos. Além disso, foi fixado o fator de interesse e estimando e avaliado os modelos de regressão para ajuste e interpretação dos dados, conforme proposto por STEEL & TORRIE (1980).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância apresentada na Tabela 1, revelou que os genótipos testados, as diferentes doses de alumínio, bem como a interação genótipo x dose, diferiram entre si pelo teste F a 1% de probabilidade de erro. Como genótipo é fator qualitativo e houve interação com doses, a análise prosseguiu com o estudo da variação separadamente para cada um dos níveis do fator doses.

Desse modo, para a correta interpretação dos resultados entre Dose x Genótipo, foi fixado o fator dose de maneira a estudar o comportamento de cada genótipo separadamente nas diferentes concentrações de alumínio e permitir eliminar, dessa forma, o efeito de interação, proporcionando seguridade na formação das classes de desempenho das cultivares para cada nível de tratamento, no teste de Tukey.

A análise demonstrou que há diferenças significativas entre os genótipos estudados dentro de cada dose, permitindo prever a variabilidade genética existente para o caráter

retomada de crescimento de raiz nas três concentrações do  $Al^{3+}$  adicionados na solução. As médias dos genótipos inseridas na Tabela 3, revelaram que a toxicidade do alumínio tende a provocar redução do recrescimento de raiz à medida que foi intensificada sua concentração para todos os genótipos em estudo. Além disso, os resultados obtidos demonstram que as doses de 15 e 20 mg L<sup>-1</sup> apresentaram o maior número de classes, discriminando de maneira efetiva a tolerância e sensibilidade das cultivares em estudo.

Tabela 1 - Resumo da análise de variação para o caráter recrescimento de raiz (mm) de dez cultivares de aveia em diferentes doses de alumínio na solução, FAEM/UFPEL, 2004.

Fonte Variação	GL	QM <sub>REC</sub>	Média Geral	CV(%)
Modelo	(29)	74,748**	12,70	7,447
Dose	2	838,249**	-	-
Genótipo	9	29,765**	-	-
Dose x Genótipo	18	12,405**	-	-
Erro	60	0,894	-	-
Total	89	-	-	-

QM<sub>rec</sub>= Quadrado médio para o caráter recrescimento de raiz; \*\* Significativo em nível de 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para o caráter recrescimento de raiz (mm) de dez cultivares de aveia fixando o fator doses. FAEM/UFPEL, 2004.

Fonte de variação	GL	QM <sub>REC</sub>		
		10ppm	15ppm	20ppm
Genótipo/Dose	9	7,489**	26,522**	20,566**
Erro	20	1,371	0,621	0,690
Total	29	-	-	-
CV(%)	-	6,542	6,116	11,35
Média Geral	-	17,884	12,890	7,312

QM<sub>REC</sub>= Quadrado médio recrescimento de raiz nas doses 10, 15 e 20 ppm de  $Al^{3+}$ ;

\*\* Significativo em nível a 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

Para SANCHES-CHÁCON et al. (2000), estudando vinte e um genótipos de aveia do programa de melhoramento genético da Universidade Federal do Rio Grande do Sul quanto a reação ao  $Al^{3+}$  tóxico em solução nutritiva, a variabilidade fenotípica foi observada a partir de 10 mg L<sup>-1</sup> de  $Al^{3+}$  e a dose de 20 mg L<sup>-1</sup> foi a que melhor discriminou os genótipos em estudo.

Analisando as médias na dose de 10 mg L<sup>-1</sup>, pode ser percebido a formação de duas classes, onde os genótipos UPF 17, UPF 18, OR 3 e UFRGS 18 apresentaram os melhores desempenhos, não diferindo entre si. O genótipo UPF 17, porém, foi o único que diferiu significativamente dos genótipos UPF 15, UFRGS 20, UPF 16, OR 2, UFRGS 14 e URS 21, que revelaram maior sensibilidade ao alumínio na solução. Na dose de 15 mg L<sup>-1</sup> de  $Al^{3+}$ , as cultivares UPF 17 e UFRGS 20 demonstraram os melhores desempenhos, não

diferindo porém do genótipo UPF 15. Os genótipos UPF 16, OR 2 com classe (bc) e (bcd), respectivamente e, UFRGS 18 com URS 21 na classe(cd) foram nesta ordem, apresentando maior sensibilidade. Os genótipos UFRGS 14, OR 3 e UPF 18 evidenciaram maior sensibilidade nesse nível de tratamento. Na concentração de 20 mg L<sup>-1</sup>, o genótipo UFRGS 20 (a) apresentou maior recrescimento de raiz, diferindo dos genótipos UPF 17 (b), UFRGS 18 (b), OR 2 (bc) e UFRGS 14 (bc) que foram similares entre si e, a cultivar UPF 18 de elevada sensibilidade a 15 mg L<sup>-1</sup>, também evidenciou baixo desempenho quando submetida na mais alta concentração de Al<sup>3+</sup>.

O genótipo UPF 18, que apresentou elevada retomada de crescimento de raiz na dose de 10 mg L<sup>-1</sup> (19 mm), demonstrou drástica redução quando submetido nas doses de 15 mg L<sup>-1</sup> (8,40 mm) e 20 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup> (3,33 mm) o que sugere a hipótese de elevada sensibilidade da cultivar ao Al<sup>3+</sup>. Observa-se também, que os genótipos UPF 17 e UFRGS 20, evidenciaram os melhores desempenhos nas doses empregadas para o experimento, sendo importante salientar a cultivar UFRGS 20 que, apesar de apresentar maior retomada de crescimento de raiz nas doses de 15 e 20 mg L<sup>-1</sup>, se manteve nestes dois ambientes, sugerindo a hipótese de grande potencial do genótipo como fonte de genes de tolerância ao Al<sup>3+</sup> para utilização em blocos de cruzamento nos programas de melhoramento genético de aveia.

As hipóteses sugeridas não podem ser confirmadas apenas pela análise de médias apresentada na Tabela 3, pois não permite comparar os genótipos considerando as três doses de forma conjunta por se tratar de fator quantitativo, o que justifica dessa forma, o uso da análise de regressão como procedimento mais conveniente.

O resumo da análise de variância da regressão para a variável dependente recrescimento de raiz para os testes de significância dos componentes linear e quadrático atribuível à dose de Al<sup>3+</sup> em solução nutritiva, para cada cultivar, está inserido na Tabela 4 e indica que há diferença significativa pelo teste F, evidenciando a necessidade de ajustar curvas distintas nos genótipos testados.

Os dados relativos ao recrescimento de raiz indicam que a resposta das cultivares UPF 17, OR 3, UFRGS 18, UPF 16, OR 2 e URS 21 à aplicação do alumínio na solução é do tipo linear, apresentando coeficientes de regressão (b<sub>i</sub>) de -0,25, -3,28, -3,30, -1,60, -1,98 e -0,75, respectivamente, conforme dados existentes na Tabela 4 e 5 e, valores negativos do coeficiente angular da reta, indicando que a retomada do crescimento de raiz reduz com o aumento da dose de Al<sup>3+</sup> na solução até certo ponto.

Como apresentado na Tabela 4 foi verificada a equação de regressão que melhor se ajusta para explicar os dados a determinado nível de significância pelo teste F. Entretanto, para determinar se as diferenças existentes são explicadas pelo efeito de tratamento ou devido ao acaso, foi analisada a significância do coeficiente angular (b<sub>i</sub>) pelo teste t, de forma a comparar se b<sub>i</sub> é igual ou diferente de zero (Tabela 5), sendo significativo apenas para as cultivares OR 3, UFRGS 18, UPF 16 e OR 2.

Analisando um exemplo, biologicamente pode ser interpretada a equação de regressão linear para a cultivar OR 3 de equação Y= 44,83 - 3,28 X da seguinte forma: a cada um ppm de aumento na dose de Al<sup>3+</sup> na solução, o caráter recrescimento de raiz reduz em 3,28 mm (b<sub>i</sub><sup>\*</sup>); assim para as demais cultivares: UPF 17 = 0,25 mm (b<sub>i</sub><sup>ns</sup>), UFRGS 18 = 3,30 mm (b<sub>i</sub><sup>\*</sup>), UPF 16 = 1,60 mm (b<sub>i</sub><sup>\*</sup>), OR 2 = 1,98 mm (b<sub>i</sub><sup>\*</sup>) e URS 21 = 0,75 mm (b<sub>i</sub><sup>ns</sup>). O desempenho do caráter estudado pode

ser visualizado na Figura 1, onde são apresentadas as curvas de regressão ajustadas para cada cultivar.

Tabela 3 - Retomada do crescimento de raiz de cultivares de aveia submetidas as doses de 10, 15 e 20 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup> em solução nutritiva. FAEM/UFPel, 2004.

N	Genótipos	Média REC	Média REC	Média REC
		10 mg L <sup>-1</sup>	15mg L <sup>-1</sup>	20mg L <sup>-1</sup>
1	UPF 17	21,60 a	16,16 a	9,07 b
2	UPF 18	19,00 ab	8,40 e	3,33 e
3	OR 3	18,33 ab	9,83 ed	4,50 ed
4	UFRGS 18	18,33 ab	11,50 cd	8,53 b
5	UPF 15	17,33 b	13,83 ab	6,06 cd
6	UFRGS 20	17,33 b	16,66 a	12,66 a
7	UPF 16	17,16 b	12,16 bc	6,86 bcd
8	OR 2	17,23 b	11,66 bcd	7,83 bc
9	UFRGS 14	16,00 b	10,16 cde	8,30 bc
10	URS 21	16,50 b	11,50 cd	6,00 cd

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey; Média REC= Média para o caráter recrescimento de raiz.

As variações significativas atribuíveis à dose de Al<sup>3+</sup> na solução, para os genótipos UPF 18, UPF 15 e UFRGS 20 e UFRGS 14, são do tipo quadrática, apresentando coeficientes de regressão (b<sub>i</sub>) de - 0,11, -0,08, -0,04 e -0,07, respectivamente, e todos com significância de b pelo teste t.

Biologicamente pode ser interpretada a equação de regressão quadrática para a cultivar UPF 18 de equação Y= 56,80 - 4,88 X - 0,11 X<sup>2</sup> do seguinte modo: a cada um ppm de aumento na dose de Al<sup>3+</sup> na solução, o caráter avaliado reduz o recrescimento em 0,11 mm (b<sup>\*</sup>) considerando b<sub>1</sub>= 4,88 e assim para o genótipo UPF 15 = -0,08 mm (b<sup>\*</sup>) com b<sub>1</sub>= -1,43, UFRGS 14 = 0,08 mm (b<sup>\*</sup>) com b<sub>1</sub>= -3,15 e UFRGS 20 = -0,04 mm (b<sup>ns</sup>) com b<sub>1</sub>= -0,80, conforme Figura 1. Conseqüentemente, esses genótipos expressam equação quadrática provavelmente por que o intervalo entre as doses estabelecidas no experimento não tenha sido adequada ou o emprego de uma quarta dose fosse indicada a permitir melhor visualização dos pontos e melhor ajuste da reta.

Pelos dados apresentados através das equações de regressão, pode ser percebido que os genótipos UPF 17 e UFRGS 20 foram altamente tolerantes quando submetidos às doses de 10, 15 e 20 mg L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup> na solução, pouco interferindo no recrescimento de raiz e concordando com os dados apresentados na análise de médias (Tabela 3), exceto para a cultivar URS 21 onde a cada ppm de Al<sup>3+</sup> reduzia 0,75 mm em retomada de crescimento de raiz (b<sub>i</sub><sup>ns</sup>), apesar de expressar classes inferiores quando comparado pelo teste de Tukey.

Além disso, é possível verificar que as cultivares UPF 18, OR 3, UFRGS 18, e UFRGS 14 apresentaram elevada sensibilidade quando submetidas às três doses de Al<sup>3+</sup>, podendo destacar o genótipo UPF 18, concordando com a análise de médias (Tabela 3), onde a referida cultivar evidenciou menor desempenho quando submetida as doses de 15 e 20 mg L<sup>-1</sup>.

Foi observado, também, que a utilização do cultivo hidropônico proporcionou facilidade na mensuração do caráter recrescimento de raiz medido em plântula; além disto, os dados expressaram reduzidos coeficientes de variação e elevados coeficientes de determinação no emprego de regressões (Figura 1), o que permite confiabilidade no processo de seleção de genótipos tolerantes ao  $Al^{3+}$ .

O emprego dos procedimentos estatísticos apropriados

permitiu determinar de maneira eficiente as diferenças genéticas de cada cultivar em estudo, como por exemplo, o genótipo URS 21, que apresentava sensibilidade ao  $Al^{3+}$  quando levado em consideração apenas o teste de médias; por outro lado, o ajustamento da curva de regressão permitiu verificar o potencial da cultivar como fonte de tolerância ao  $Al^{3+}$  pela ausência de significância do coeficiente angular b<sub>1</sub>.

Tabela 4 - Resumo da análise de variação da regressão para a variável dependente recrescimento de raiz em cultivares de aveia dos componentes linear e quadrático da variação atribuível ao efeito de doses  $Al^{3+}$ , FAEM/UFPEL, 2004.

Genótipo	Fonte Variação	GL	QM <sub>REC</sub>	Média	R <sup>2</sup>	CV(%)
UPF17	Modelo	(2)	118,507	15,611	0,972	6,755
	Linear	1	235,626**	-	-	-
	Quadrático	1	1,388 <sup>ns</sup>	-	-	-
	Erro	6	1,125	-	-	-
UPF18	Modelo	(2)	191,737**	10,244	0,992	6,817
	Linear	1	368,166**	-	-	-
	Quadrático	1	15,308**	-	-	-
	Erro	6	0,487	-	-	-
OR3	Modelo	(2)	146,027**	10,880	0,960	12,050
	Linear	1	287,041**	-	-	-
	Quadrático	1	5,013 <sup>ns</sup>	-	-	-
	Erro	6	1,722	-	-	-
UFRGS 18	Modelo	(2)	75,767**	12,78	0,946	9,368
	Linear	1	144,060**	-	-	-
	Quadrático	1	7,475 <sup>ns</sup>	-	-	-
	Erro	6	1,435	-	-	-
UPF15	Modelo	(2)	95,555**	11,855	0,939	12,316
	Linear	1	196,081**	-	-	-
	Quadrático	1	1,027**	-	-	-
	Erro	6	2,134	-	-	-
UFRGS 20	Modelo	(2)	17,331**	14,666	0,877	6,119
	Linear	1	32,666**	-	-	-
	Quadrático	1	2,000**	-	-	-
	Erro	6	0,800	-	-	-
UPF16	Modelo	(2)	79,590**	12,066	0,971	7,282
	Linear	1	159,135**	-	-	-
	Quadrático	1	0,045 <sup>ns</sup>	-	-	-
	Erro	6	0,773	-	-	-
OR2	Modelo	(2)	67,021**	12,242	0,973	5,857
	Linear	1	132,546**	-	-	-
	Quadrático	1	1,504 <sup>ns</sup>	-	-	-
	Erro	6	0,513	-	-	-
UFRGS 14	Modelo	(2)	48,401**	11,488	0,953	7,741
	Linear	1	88,935**	-	-	-
	Quadrático	1	7,867**	-	-	-
	Erro	6	0,791	-	-	-
URS 21	Modelo	(2)	82,756**	11,332	0,973	7,647
	Linear	1	165,375**	-	-	-
	Quadrático	1	0,125 <sup>ns</sup>	-	-	-
	Erro	6	0,750	-	-	-

QM<sub>REC</sub>= Quadrado médio para o caráter recrescimento de raiz

R<sup>2</sup>= Coeficiente de determinação; CV(%)= Coeficiente de variação em percentual.

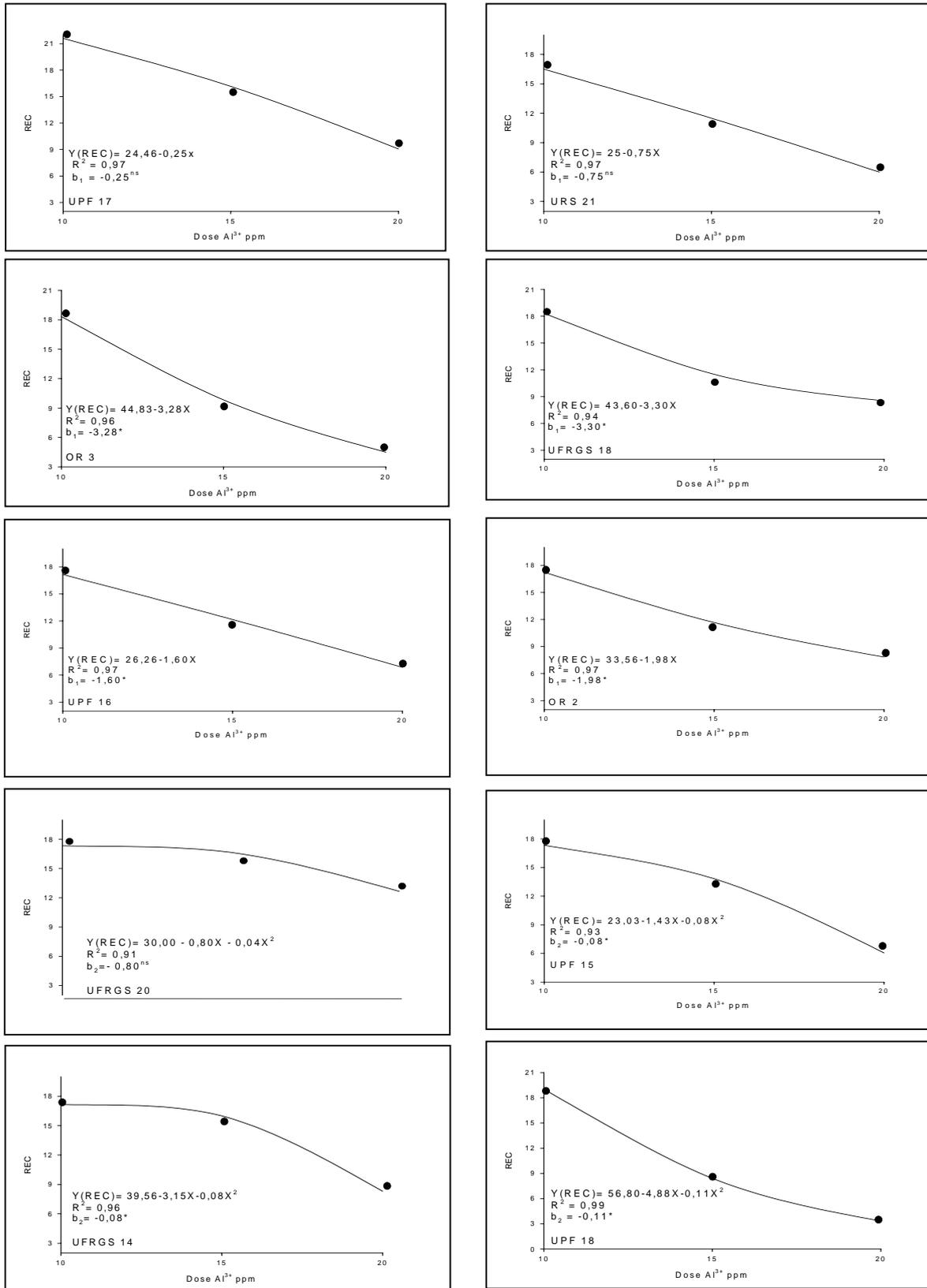


Figura 1 - Regressões ajustadas para o caráter recrescimento de raiz (mm) utilizando 10 cultivares de aveia branca em três doses distintas de Al³⁺ na solução, FAEM/UFPel, 2004.

Tabela 5 - Determinação da significância do coeficiente angular (b<sub>i</sub>) empregando teste t nas cultivares de aveia submetidas ao tratamento com Al<sup>3+</sup> em cultivo hidropônico FAEM/UFPEL, 2004.

Genótipo	Parâmetro	Estimativa (b <sub>i</sub> )	Erro Padrão	Valor  t	Pr> t
UPF 17	Linear	-0,253	0,904	-0,28	0,788
	Quadrático	-0,03	0,03	-1,11	0,309
UPF 18	Linear	-4,886	0,595	-8,21	0,002
	Quadrático	-0,110	0,019	5,60	0,001
OR 3	Linear	-3,283	1,118	-2,93	0,026
	Quadrático	0,063	0,037	1,71	0,138
UFRGS 18	Linear	-3,300	1,021	-3,23	0,017
	Quadrático	0,077	0,033	2,28	0,062
UPF 15	Linear	1,43	0,743	1,93	0,102
	Quadrático	-0,08	0,024	-3,46	0,01
UFRGS 20	Linear	-0,803	0,765	-2,18	0,072
	Quadrático	-0,040	0,025	1,58	0,166
UPF 16	Linear	-1,602	0,749	-3,13	0,021
	Quadrático	-0,006	0,024	-0,24	0,817
OR 2	Linear	-1,980	0,610	-3,24	0,017
	Quadrático	0,034	0,020	1,71	0,138
UFRGS 14	Linear	-3,152	0,758	-4,15	0,006
	Quadrático	-0,079	0,025	3,15	0,019
URS 21	Linear	-0,750	0,738	-1,02	0,348
	Quadrático	-0,010	0,024	-0,41	0,697

## CONCLUSÕES

As doses de 15 e 20 mg L<sup>-1</sup> de alumínio em solução nutritiva são eficientes para a identificação de genótipos de aveia tolerantes e sensíveis ao alumínio tóxico.

As cultivares UPF 17, UFRGS 20 e URS 21 expressaram tolerância ao Al<sup>3+</sup>, podendo ser indicadas para cruzamentos com genótipos de elevado potencial de rendimento de grãos.

## REFERÊNCIAS

- ANIOL, A. Genetics of tolerance to aluminium in wheat (*Triticum aestivum* L.) **Plant and Soil**, Wageningen, n.3, v. 123, p. 223 – 227, 1990.
- CAMARGO, O.C.E. DE; 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. **Bragantia**, Campinas, v.51, n.1, p.21-30, 1992.
- CAMARGO, O. C. E. DE; OLIVEIRA, O. F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. **Bragantia**, Campinas, v. 40, n.2, p.21 –23, 1981.
- 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 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DORNELLES, A.L.C.; CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C. et al. 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.
- FOY, C.D.; FLEMING, A.L. The physiology of plant tolerance to excess available aluminum and manganese in acid soils. In: JUNG, G.A. Crop Tolerance to suboptimal land condition. **The Soil Science Society American**, Madison, v.3. p.301 – 338. 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, n.3, p. 593 – 598, 1992.
- OLIVEIRA, P.H. de. **Herança genética e mapeamento molecular da tolerância à toxicidade do alumínio em aveia (*Avena sativa* L.)**. Porto Alegre, 2002. 102 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- RIEDE, C.R.; ANDERSON, J. A. Linkage of RFLP markers to aluminum tolerance gene in wheat. **Crop Science**, Madison, v. 36, n.2, p. 905 – 909, 1996.
- SÁNCHEZ-CHACÓN, C.D.; FEDERIZZI, L.C.; MILACH, S.C.K. et al. Variabilidade genética e herança da tolerância à

toxicidade do alumínio em aveia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.9, p. 1798 – 1808, 2000.

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, v.19, n.3, p.287-298, 1984.

SILVA, J.A.G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C. et al.

Trigos di-haplóides com potencial para tolerância a toxicidade ao alumínio e a sensibilidade ao ácido giberélico em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.10, n.1, p.37 – 41, 2004.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. New York: MacGraw-Hill Book Company, 1980. 633 p.