

# CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE AVEIA BRANCA EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE MANGANÊS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

CHARACTERIZATION OF WHITE OAT GENOTYPES EM DIFFERENTS CONCENTRATION OF MANGANESE IN NUTRITIVE SOLUTION

FINATTO, Taciane<sup>1</sup>; SILVA, José A. G. da<sup>2</sup>; CRESTANI, Maraísa<sup>3</sup>; CARVALHO, Fernando I. F. de<sup>4</sup>; OLIVEIRA, Antonio C<sup>4</sup>.; CARBONERA, Roberto<sup>2</sup>; REIS, Cecília E. S. dos<sup>5</sup>; LUCHE, Henrique S. L<sup>6</sup>.

## RESUMO

O emprego de cultivo hidropônico para avaliar a toxicidade pelo manganês em genótipos de aveia pode representar uma técnica eficiente em discriminar fenotipicamente a tolerância e sensibilidade nesta espécie. Dez cultivares de aveia branca foram avaliadas com o intuito de quantificar a tolerância ao manganês. Foram utilizadas doses de 0,11 - 400 - 800 e 1600 mg.L<sup>-1</sup> de manganês na solução hidropônica sob temperatura constante de 25 °C ±1, pH 4,8 e aeração. A tolerância ao manganês foi avaliada pela média do comprimento de raiz e de parte aérea para cada cultivar após o período de doze dias. As doses entre 800 e 1200 mg.L<sup>-1</sup> de Mn<sup>2+</sup> e o caráter comprimento de raiz, foram eficientes na identificação de genótipos de aveia tolerantes e sensíveis. As cultivares UFRGS 17, URS 20 e UFRGS 15 expressam tolerância ao Mn quando avaliadas em hidroponia.

**Palavras-chave:** *Avena sativa* L., comprimento de raiz, seleção, tolerância ao manganês, cultivo hidropônico.

## ABSTRACT

The use of hydroponic culture to evaluate to the manganese toxicity in oat genotypes can be an efficient technique to discriminate tolerant genotypes in this species. Ten white oat cultivars were evaluated aiming to quantify their tolerance to manganese. Manganese levels of 0,11 - 400 - 800 and 1600 mg.L<sup>-1</sup> were used in hydroponic solution, under constant temperature of 25 °C ±1, pH 4,8 and aeration. Manganese tolerance was evaluated by considering the mean root and aerial part length, for each cultivar, after a period of twelve days. The doses between 800 and 1200 mg.L<sup>-1</sup> of Mn and the character root length were efficient on the identification of tolerant and sensitive oat genotypes. The cultivars UFRGS 17, URS 20 and UFRGS 15 express manganese tolerance when evaluated in hydroponics.

**Key-words:** *Avena sativa* L., root length, selection, manganese tolerance, hydroponic culture.

## INTRODUÇÃO

A aveia branca, *Avena sativa* L., é uma espécie pertencente à família botânica Poaceae, que tem origem na Ásia e no sudeste europeu. É uma espécie anual e adaptada preferencialmente a regiões de clima temperado. No Brasil, esta espécie é cultivada, principalmente, na região Sul, no período de estação fria, sendo empregada para alimentação animal, devido à facilidade de cultivo e ao bom valor nutricional da planta e dos grãos.

A aveia se destaca dentre os outros cereais, pela quantidade e qualidade protéica, variando de 12,4 a 24,5% no grão sem casca (cariopse) e pela maior percentagem de lipídeos que varia de 3,10 a 10,9% (HART &

ELIAS, 2001). É fonte de vitaminas e sais minerais como ferro, flúor, fósforo, enxofre e magnésio, além de possuir 9-11% de fibra alimentar total, conferindo reconhecido efeito benéfico à saúde humana (ANDERSON, 1993; PEDÓ & SGARBIERI, 1997; HARTWIG, 2005).

A alta acidez dos solos do sul do Brasil, associada à grande concentração de Al<sup>3+</sup> e Mn<sup>2+</sup>, representam um sério problema para adaptação de diferentes cereais, principalmente em genótipos que apresentam elevada sensibilidade a estes íons metálicos, acarretando em menor capacidade de suportar fatores de estresse que podem ser prejudiciais durante os estádios de desenvolvimento da cultura. Portanto, um dos principais desafios dos pesquisadores é a obtenção de genótipos com alto potencial de rendimento e com capacidade de produção em diferentes sistemas agrícolas, principalmente em solos ácidos que tendem a evidenciar problemas de toxidez.

A correção da acidez do solo utilizando a calagem é uma das tentativas de reduzir os efeitos tóxicos por Al<sup>3+</sup> e Mn<sup>2+</sup>, porém, a correção é efetuada apenas na camada arável de quinze a vinte centímetros superficiais do solo; contudo, as raízes das plantas superam as camadas adjacentes, onde os teores destes elementos químicos novamente tornam-se elevados, ocasionando dificuldades para o desenvolvimento da planta. Para OLIVEIRA (2002), a alternativa mais promissora para reduzir os efeitos de toxidez no solo é a exploração do potencial genético das culturas, pois as espécies e variedades diferem amplamente nos níveis de tolerância ao excesso dos elementos químicos no solo.

O manganês é um micronutriente essencial em todos os estádios de desenvolvimento das plantas, sendo de fundamental importância na fotossíntese, pois é responsável pela ativação de diversas enzimas que atuam neste processo (DUCIC & POLLE, 2005). No entanto, quando presente em concentrações elevadas no solo ocasiona o sintoma de crestamento que é observado pelo enrugamento das folhas, iniciando por uma clorose marginal das folhas novas, seguidas de pontuações necróticas na superfície e necrose; posteriormente, a folha é tomada por severo enrugamento com aumento dos pontos necróticos, ocorrendo clorose internerval na margem até atingir a parte basal da planta (ANDRADE, 1976). Várias técnicas vêm sendo desenvolvidas pelos programas de melhoramento genético na tentativa de obter constituições genéticas tolerantes a este metal, tais como; testes a campo, em laboratório utilizando soluções nutritivas ou cultivo em vasos em casa de vegetação (MARTINS, 2004). No entanto, caracterização e seleção de plantas tolerantes ao Mn<sup>2+</sup> em condições de campo, podem ser dificultadas pela desuniformidade natural dos solos, podendo haver indução a erros na identificação de constituições genéticas tolerantes a esse elemento químico. Nesse sentido, a utilização do cultivo hidropônico pode ser uma técnica eficiente que permita a identificação e seleção de genótipos tolerantes à concentração elevada de elementos químicos do solo (SILVA et al., 2004).

O objetivo do presente trabalho foi o de verificar a existência de diferenças em cultivares de aveia branca quanto à tolerância ao manganês no

<sup>1</sup>Bióloga, estudante do curso de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais em nível de Mestrado pela Universidade Federal de Santa Catarina/SC.

<sup>2</sup>Professor do Departamento de Estudos Agrários do Curso de Agronomia da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ. Autor para correspondência: Rua do Comércio 3000 – Bairro Universitário, CEP: 98700-000 – Ijuí/RS, email: jagsfaem@yahoo.com.br.

<sup>3</sup>Eng<sup>a</sup> Agr<sup>a</sup>, estudante do curso de Pós-graduação em Agronomia (Fitomelhoramento) em nível de Mestrado pela Universidade Federal de Pelotas/RS.

<sup>4</sup>Professor do Departamento de Fitotecnia (Fitomelhoramento) da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPel)/RS.

<sup>5</sup>Química, estudante do curso de Pós-graduação em Agronomia (Solos) em nível de Mestrado pela Universidade Federal de Pelotas/RS.

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

estádio de plântula, além de determinar o caráter ideal de seleção e a concentração apropriada para avaliação em condições de hidroponia.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Duplo-haplóides e Hidroponia do Centro de Genômica e Fitomelhoramento da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel /UFPEL, utilizando a técnica de cultivo hidropônico, como descrita por CAMARGO e OLIVEIRA (1983). No estudo, foram avaliadas dez cultivares de aveia branca: ALBASUL, UPF 15, UPF 16, UPF 18, UFRGS 14, UFRGS 15, UFRGS 17, UFRGS 19, URS 20 e URS 21. O delineamento experimental foi o completamente casualizado com três repetições, sendo cada repetição composta por quinze plântulas por genótipo. Anteriormente à implantação do experimento, foi realizada a desinfecção das sementes com hipoclorito de sódio (1,5%) por cinco minutos com água destilada. Após, as sementes foram colocadas em caixas Gerbox contendo papel filtro embebido com água destilada e levadas à BOD com temperatura de 25° C e iluminação permanente por 48 horas, para início da germinação e obtenção de plântulas com raízes uniformes.

As sementes germinadas com aproximadamente um centímetro de radícula foram transplantadas para uma tela plástica adaptada à tampa de um recipiente (balde) contendo 5,5 litros de solução nutritiva (cada tela contendo dez genótipos e cada genótipo representado por quinze plântulas). Os nutrientes empregados para formulação da solução nutritiva foram:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  4mM;  $\text{MgSO}_4$  2mM;  $\text{KNO}_3$  4mM;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  0,435mM;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0,5mM;  $\text{MnSO}_4$  2mM;  $\text{CuSO}_4$  0,3  $\mu\text{M}$ ;  $\text{ZnSO}_4$  0,8 $\mu\text{M}$ ;  $\text{NaCl}$  30  $\mu\text{M}$ ;  $\text{Fe-EDTA}$  10  $\mu\text{M}$ ;  $\text{NaMoSO}_4$  0,10  $\mu\text{M}$ ;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  10 $\mu\text{M}$  e sulfato de manganês ( $\text{MnSO}_4\text{H}_2\text{O}$ ), de modo a obter as concentrações de 0,11 (dose padrão), 400, 800 e 1600 $\text{mg.L}^{-1}$  de  $\text{Mn}^{2+}$  e, pH ajustado para 4,8. A determinação das doses foi estabelecida com base nas diferentes concentrações de  $\text{Mn}^{2+}$  que ocorrem naturalmente nos solos de acordo com suas rochas formadoras e de estudos realizados por CAMARGO & FERREIRA (1992) com trigo em solução hidropônica. Segundo BOHNEN (1995), um solo formado por arenito pode apresentar apenas 10  $\text{mg.kg}^{-1}$  de  $\text{Mn}^{2+}$ , enquanto que solos originados a partir do basalto a

concentração de  $\text{Mn}^{2+}$  pode atingir 1500  $\text{mg.kg}^{-1}$ . Os baldes contendo as plântulas foram levados a um tanque de metal para que ficassem em banho-maria à temperatura de aproximadamente 25° C  $\pm$ 1, iluminação permanente e ligados a um sistema de aeração para fornecer oxigênio as raízes, onde permaneceram por doze dias. Durante este período, foram realizadas aferições diárias de pH e no 12° dia, efetuada a mensuração dos caracteres comprimento de raiz (CR) e comprimento de parte aérea (CPA).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para verificar possível interação entre os fatores. Posteriormente, com a confirmação de interação, a análise prosseguiu visando analisar as diferentes cultivares em cada concentração de manganês aplicado em solução. Para comparação de médias foi empregado o teste de SCOTT & KNOTT e estimadas as equações de regressão, que permitiram inferir sobre a manifestação biológica dos resultados apresentados, utilizando o programa estatístico Genes (CRUZ, 2001).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância (Tabela 1. Geral), evidenciam que tanto o fator dose quanto genótipo apresentaram ao menos um tratamento em cada fator que diferiu dos demais, nos caracteres CR e CPA. Além disso, a interação genótipo x dose foi significativa, o que determinou a continuidade da análise pela definição de seus efeitos simples. Neste sentido, foi fixado o fator dose de modo a avaliar o efeito dos genótipos em cada concentração do elemento químico (Tabela 1. Fixo). Portanto, a significância presente em cada concentração de  $\text{Mn}^{2+}$  levanta a hipótese de existência de variabilidade genética nos dois caracteres testados, prováveis indicadores de tolerância e sensibilidade ao manganês. Aspectos também relevantes são quanto aos valores médios apresentados para cada caráter nas diferentes concentrações de  $\text{Mn}^{2+}$ , demonstrando uma redução no CR e CPA, à medida que foi intensificada a concentração do elemento químico. Além disto, reduzidos valores de coeficientes de variação foram observados, assim como, elevados valores de coeficientes de determinação, o que evidencia a confiabilidade do experimento realizado e dos resultados apresentados.

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância e descrição dos fatores fixos dos tratamentos avaliados no estudo para os caracteres comprimento de raiz (CR) e comprimento de parte aérea (CPA) para as dez cultivares de aveia nas quatro diferentes concentrações de  $Mn^{2+}$  ( $mg.L^{-1}$ ). FAEM/UFPel, 2006.

Fonte de Variação Geral	GL	QM (cm)			
		CR		CPA	
Modelo	39	12,68*		40,75*	
Dose	3	116,37*		256,37*	
Genótipo	9	12,70*		51,60*	
Dose x Genótipo	27	1,15*		13,17*	
Erro	80	0,39		1,39	
Total	119	-		-	
CV (%)	-	10,38		7,16	
R <sup>2</sup>	-	0,94		0,93	

Fonte de Variação Fixa	QM CR				QM CPA			
	0,11 <sup>o</sup>	400 <sup>o</sup>	800 <sup>o</sup>	1600 <sup>o</sup>	0,11 <sup>o</sup>	400 <sup>o</sup>	800 <sup>o</sup>	1600 <sup>o</sup>
Genótipo	5,04*	4,11*	3,98*	3,02*	46,03*	9,67*	15,9*	19,58*
Erro	0,60	0,31	0,47	0,16	1,98	0,98	0,92	1,67
Média (cm)	8,09	6,72	5,81	3,41	19,56	17,65	15,93	12,67
CV(%)	9,58	8,31	11,87	11,98	7,19	5,61	6,04	10,20
R <sup>2</sup>	0,78	0,85	0,78	0,89	0,91	0,81	0,88	0,84

<sup>o</sup>Concentrações de  $Mn^{2+}$  em  $mg.L^{-1}$ ; \*Valores significativos a 5% de probabilidade de erro; QM = Quadrado médio para os caracteres CPA e CR; CV = coeficiente de variação e R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação.

A variabilidade para os caracteres CR e CPA foi constatada ainda em solução nutritiva padrão com  $0,11 mg.L^{-1}$  de  $Mn^{2+}$  (Tabela 2), evidenciando diferenças genéticas pelo comportamento distinto das cultivares nesta concentração do elemento. Tanto na concentração de  $0,11 mg.L^{-1}$  quanto de  $400mg.L^{-1}$  de Mn o desempenho dos distintos genótipos foi muito similar,

exceto UFRGS 14 no CR e URS 21 e URS 20 no CPA, que passaram a evidenciar maior sensibilidade nessa concentração. Portanto, foi verificado que a dose de  $400 mg.L^{-1}$  não permitia uma discriminação efetiva entre genótipos sensíveis e tolerantes quando comparado com a dose padrão de  $0,11 mg.L^{-1}$  (Tabela2).

**Tabela 2.** Comparação de médias nos caracteres comprimento da parte aérea e comprimento de raiz em dez cultivares de aveia branca submetidas a quatro concentrações de  $Mn^{2+}$ . FAEM/UFPEl, 2006.

Genótipos	Comprimento de Raiz (cm)			
	0,11 mg.L <sup>-1</sup>	400 mg.L <sup>-1</sup>	800 mg.L <sup>-1</sup>	1600 mg.L <sup>-1</sup>
URS 21	<b>**A 6,83*c</b>	<b>B 5,80 c</b>	<b>B 4,89 d</b>	<b>C 2,61 c</b>
URS 20	<b>A 8,29 b</b>	<b>A 7,17 b</b>	<b>A 6,43 b</b>	<b>B 4,80 a</b>
UPF 18	<b>A 8,30 b</b>	<b>B 7,77 b</b>	<b>C 5,87 c</b>	<b>D 3,15 c</b>
UPF 16	<b>A 6,83 c</b>	<b>B 5,47 c</b>	<b>B 5,07 d</b>	<b>C 2,75 c</b>
UPF 15	<b>A 7,33 c</b>	<b>B 5,86 c</b>	<b>B 4,69 d</b>	<b>C 3,04 c</b>
UFRGS 19	<b>A 8,03 b</b>	<b>B 6,94 b</b>	<b>B 6,02 c</b>	<b>C 3,87 b</b>
UFRGS 17	<b>A 9,33 b</b>	<b>A 7,83 b</b>	<b>A 6,97 b</b>	<b>B 4,80 a</b>
UFRGS 15	<b>A 10,5 a</b>	<b>B 8,83 a</b>	<b>B 8,18 a</b>	<b>C 4,08 b</b>
UFRGS 14	<b>A 9,06 b</b>	<b>B 6,33 c</b>	<b>B 5,63 c</b>	<b>C 1,61 d</b>
ALBASSUL	<b>A 6,42 c</b>	<b>B 5,30 c</b>	<b>B 4,43 d</b>	<b>C 3,45 c</b>
Comprimento da parte aérea (cm)				
URS 21	<b>A 22,23 a</b>	<b>B 17,64 b</b>	<b>C 14,01 c</b>	<b>C 12,83 b</b>
URS 20	<b>A 21,25 a</b>	<b>B 17,92 b</b>	<b>C 15,41 c</b>	<b>C 13,17 b</b>
UPF 18	<b>A 21,23 a</b>	<b>B 18,51 a</b>	<b>C 16,63 b</b>	<b>C 15,00 a</b>
UPF 16	<b>A 18,33 b</b>	<b>A 17,69 b</b>	<b>B 12,42 d</b>	<b>C 10,50 b</b>
UPF 15	<b>A 23,33 a</b>	<b>B 19,32 a</b>	<b>B 19,23 a</b>	<b>B 16,67 a</b>
UFRGS 19	<b>A 19,30 b</b>	<b>B 16,33 b</b>	<b>B 14,87 c</b>	<b>C 11,58 b</b>
UFRGS 17	<b>A 19,73 b</b>	<b>A 17,79 b</b>	<b>B 16,17 b</b>	<b>B 14,79 a</b>
UFRGS 15	<b>A 19,64 b</b>	<b>A 17,08 b</b>	<b>B 14,17 c</b>	<b>B 12,27 b</b>
UFRGS 14	<b>A 23,00 a</b>	<b>A 20,04 a</b>	<b>A 19,10 a</b>	<b>B 10,57 b</b>
ALBASSUL	<b>A 15,43 c</b>	<b>B 13,53 c</b>	<b>B 12,07 d</b>	<b>C 7,50 c</b>

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem 5% de probabilidade de erro.

\*\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem 5% de probabilidade de erro.

Na dose de 800 mg.L<sup>-1</sup> as modificações no desempenho dos genótipos em relação ao padrão foram evidentes, onde o destaque pode ser conferido ao genótipo UFRGS 15 que evidenciou o melhor resultado considerando as três doses indicadas (0,11, 400 e 800mg.L<sup>-1</sup>) no caráter CR. Já para o CPA o melhor desempenho foi conferido às cultivares UPF 15 e UFRGS 14 que também expressaram os maiores valores médios nestas três concentrações. Para a dose mais concentrada do elemento químico os genótipos URS 20 e UFRGS 17 apresentaram maior CR e UPF 18, UPF 15 e UFRGS 17 maior CPA. Na concentração de 1600 mg.L<sup>-1</sup> Mn na solução, os genótipo UFRGS 17 e URS 20 evidenciaram o melhor desempenho no caráter comprimento de raiz, indicando serem genótipos de elevada tolerância, enquanto que as cultivares URS 21, UPF 16, UPF 15, UFRGS 19, UFRGS 15, UFRGS 14 e ALBASSUL revelaram tolerância intermediária, e UPF 18 demonstrou elevada sensibilidade com uma redução de forma linear (Figura 1).

Testando as diferenças existentes entre as distintas concentrações na análise de médias (Tabela 2), as cultivares URS 20 e UFRGS 17 evidenciaram os melhores desempenhos no caráter CR, indicando serem genótipos de elevada tolerância, ao passo que URS 21, UPF 16, UPF 15, UFRGS 19, UFRGS 15 e ALBASSUL revelaram tolerância intermediária, UPF 18 demonstrou elevada sensibilidade evidenciando uma redução de forma linear.

No caráter CPA foi observada grande variabilidade entre as cultivares testadas (Figura 1 e 3), entretanto, esta variabilidade não pode ser considerada como fator determinante de tolerância ou sensibilidade ao  $Mn^{2+}$  em solução nutritiva, pois no experimento realizado, as plântulas permaneceram por doze dias em solução, logo, os efeitos da toxidez por  $Mn^{2+}$  ainda não foram prejudiciais o suficiente para que a parte aérea planta fosse efetivamente afetada, causando em primeiro momento danos às raízes, que se apresentavam escurecidas (coloração marrom) e de tamanho menor em relação a testemunha (0,11 mg.L<sup>-1</sup>). MARSH & PETERSON (1990), estudando cultivares de batata, e

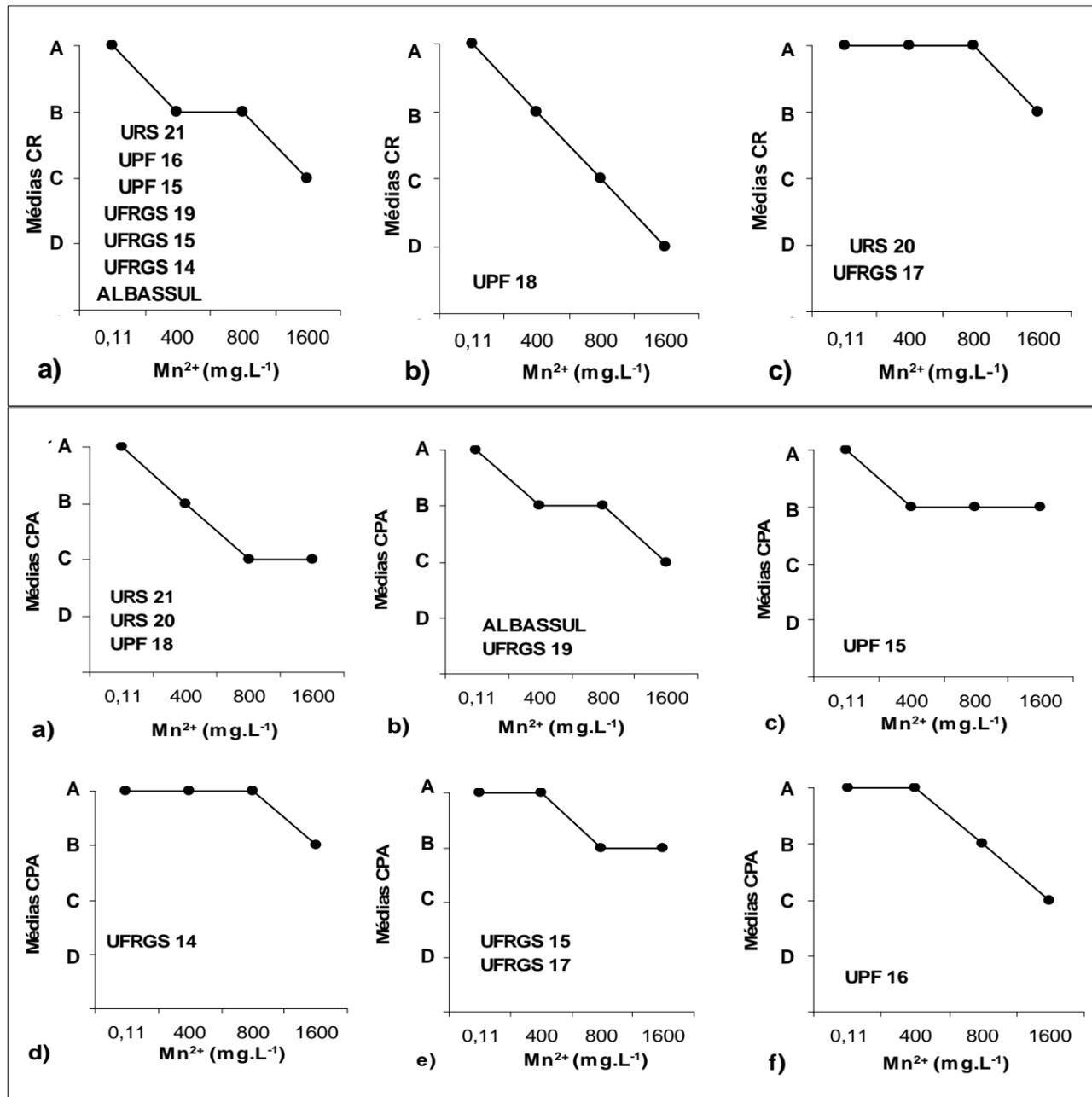
FOY, WEIL & CORADETTI (1995) no algodão, verificaram que o incremento de biomassa da parte aérea e sua redução na raiz são devidas a elevadas concentrações de  $Mn^{2+}$  acumuladas nas folhas destas diferentes espécies. Segundo EDREVA e APOSTOLOVA (1989) e SAMANTARAY, ROUT e DAS (1997) o declínio no desenvolvimento da raiz em concentrações elevadas de manganês era devido provavelmente à redução na quantidade de proteína na raiz pelo íon metálico ( $Mn^{2+}$ ).

Na dose de 800 mg.L<sup>-1</sup> as modificações no desempenho dos genótipos em relação ao padrão foram evidentes, onde o destaque pode ser conferido ao genótipo UFRGS 15 que evidenciou o melhor resultado considerando as três doses indicadas (0,11, 400 e 800mg.L<sup>-1</sup>) no caráter CR. Já para o CPA o grande desempenho foi conferido às cultivares UPF 15 e UFRGS 14 que também expressaram os melhores valores médios nestas três concentrações. Para a dose mais concentrada do elemento químico os genótipos URS 20 e UFRGS 17 apresentaram maior CR e UPF 18, UPF 15 e UFRGS 17 maior CPA. Na concentração de 1600 mg.L<sup>-1</sup> Mn na solução, os genótipos UFRGS 17 e URS 20 evidenciaram o melhor desempenho no caráter comprimento de raiz, indicando serem genótipos de elevada tolerância, enquanto que as cultivares URS 21, UPF 16, UPF 15, UFRGS 19, UFRGS 15, UFRGS 14 e ALBASSUL revelaram tolerância intermediária, e UPF 18 demonstrou elevada sensibilidade com uma redução de forma linear (Figura 3).

Testando as diferenças existentes entre as distintas concentrações na análise de médias (Tabela 2), as cultivares URS 20 e UFRGS 17 evidenciaram os melhores desempenhos no caráter CR, indicando serem genótipos de elevada tolerância, ao passo que URS 21, UPF 16, UPF 15, UFRGS 19, UFRGS 15 e ALBASSUL revelaram tolerância intermediária, UPF 18 demonstrou elevada sensibilidade evidenciando uma redução de forma linear (Figura 3). No caráter CPA foi observada grande variabilidade entre as cultivares testadas (Figura 3), entretanto, esta variabilidade não pode ser considerada como fator determinante de tolerância ou sensibilidade ao  $Mn^{2+}$

FINATTO et al. Caracterização de genótipos de aveia branca em diferentes concentrações de manganês em solução nutritiva em solução nutritiva, pois no experimento realizado, as plântulas permaneceram por doze dias em solução, logo, os efeitos da toxidez por  $Mn^{2+}$  ainda não foram prejudiciais o suficiente para que a parte aérea planta fosse efetivamente afetada, causando em primeiro momento danos às raízes, que se apresentavam escurecidas (coloração marrom) e de tamanho menor em relação a testemunha (0,11  $mg.L^{-1}$ ). MARSH & PETERSON (1990), estudando cultivares de batata, e FOY, WEIL & CORADETTI (1995) no algodão,

verificaram que o incremento de biomassa da parte aérea e sua redução na raiz é devido a elevadas concentrações de  $Mn^{2+}$  acumuladas nas folhas destas diferentes espécies e segundo EDREVA e APOSTOLOVA (1989) e SAMANTARAY, ROUT e DAS (1997) o declínio no desenvolvimento da raiz em concentrações elevadas de manganês era devido provavelmente à redução na quantidade de proteína na raiz pelo íon metálico ( $Mn^{2+}$ ).



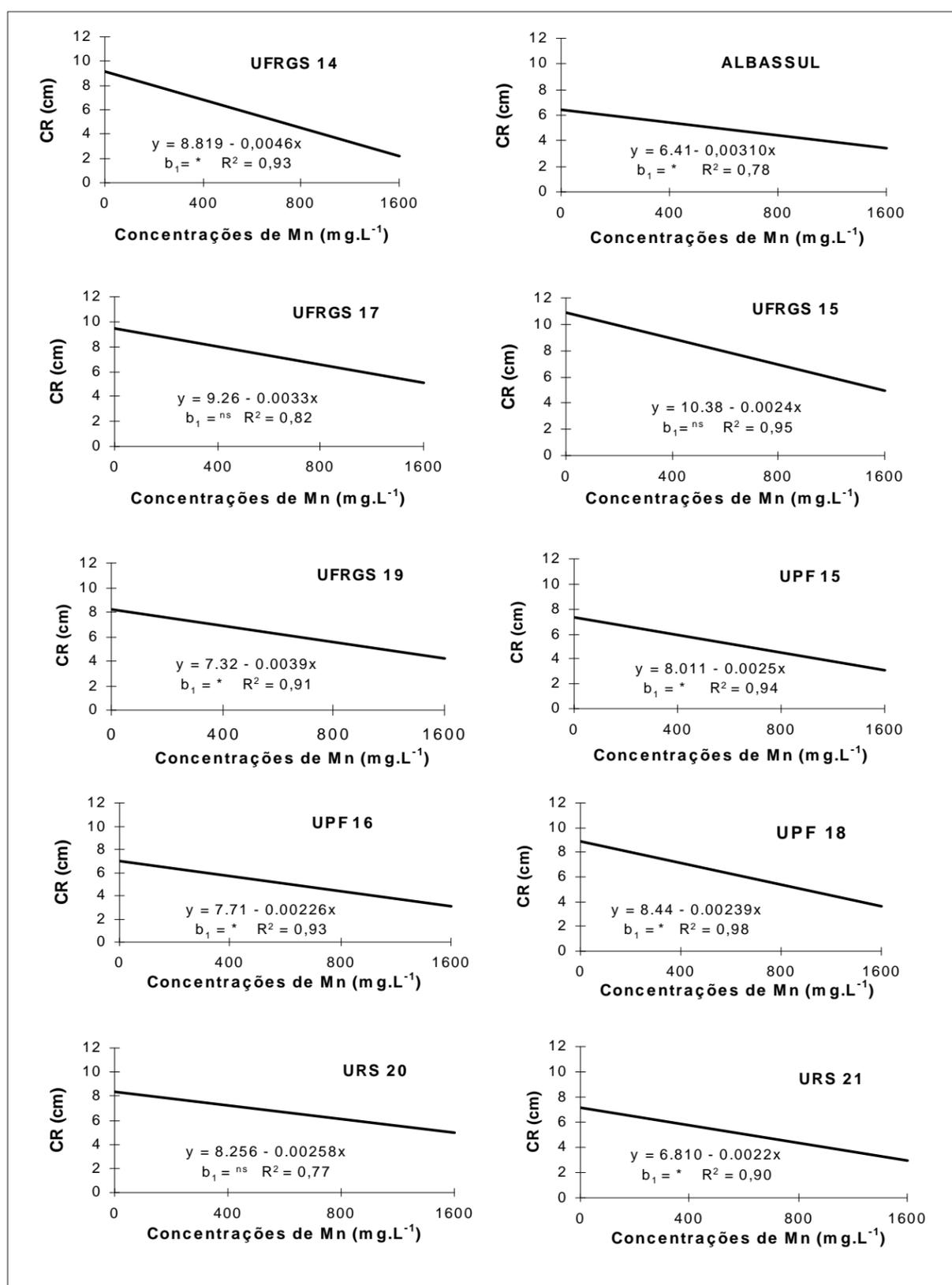
**Figura 1.** Representação gráfica da resposta genética de diferentes cultivares de aveia para os caracteres comprimento de raiz (CR) e de parte aérea (CPA) com o incremento das concentrações de manganês, segundo a análise de médias pelo teste de SCOTT E KNOTT. As cultivares que se encontram agrupadas nos gráficos apresentaram comportamento similar. FAEM, UFPel, 2006.

No presente estudo, os genótipos que evidenciaram os maiores comprimentos de raiz nem sempre apresentaram os maiores comprimentos de parte aérea, determinando a complexidade e independência dos genes relacionados à expressão do CPA e CR. Portanto, se observa que os caracteres CR e CPA tendem a demonstrar inconsistência quanto ao nível de tolerância das cultivares, quando avaliados simultaneamente. Pois apenas a cultivar UFRGS 17 revelou tolerância quando considerados ambos os caracteres, o que nos leva a concluir que apenas um caráter realmente deve expressar de forma clara o nível de tolerância dos genótipos empregados no experimento.

Avaliando em laboratório a tolerância à toxidez por  $Mn^{2+}$  em plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.), com o emprego do cultivo hidropônico, CAMARGO & OLIVEIRA (1983) determinaram que o caráter crescimento de raiz foi o que melhor discriminou fenotipicamente cultivares de trigo quanto à tolerância ao  $Mn^{2+}$ . Já, ROUT, SAMANTARAY e DAS (2001), estudando cultivares de feijão (*Vigna radiata* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.), verificaram que o

comprimento de raiz e de parte aérea eram afetados com o aumento dos níveis de manganês adicionados em solução nutritiva, e que esta redução se apresentava de forma distinta entre as cultivares testadas, evidenciando a variabilidade existente na espécie e sua caracterização em sensíveis e tolerantes. Além disso, MARTINS (2004) evidenciou que o comprimento da raiz principal foi o caráter que melhor diferenciou linhagens de trigo duplo-haplóides quanto à tolerância e sensibilidade ao íon metálico em condições de hidroponia.

Com a finalidade de demonstrar o efeito das concentrações de  $Mn^{2+}$  sobre as variáveis CR e CPA e determinar com maior precisão o nível de tolerância das cultivares, foi incluída também uma análise de regressão para os testes de significância dos componentes linear e quadrático atribuível às concentrações de manganês adicionadas em solução nutritiva. Portanto, pela interação genótipo x dose ter sido confirmada, houve a necessidade de ajuste de equações distintas para cada genótipo de aveia testado em hidroponia (Figura 2 e 3).



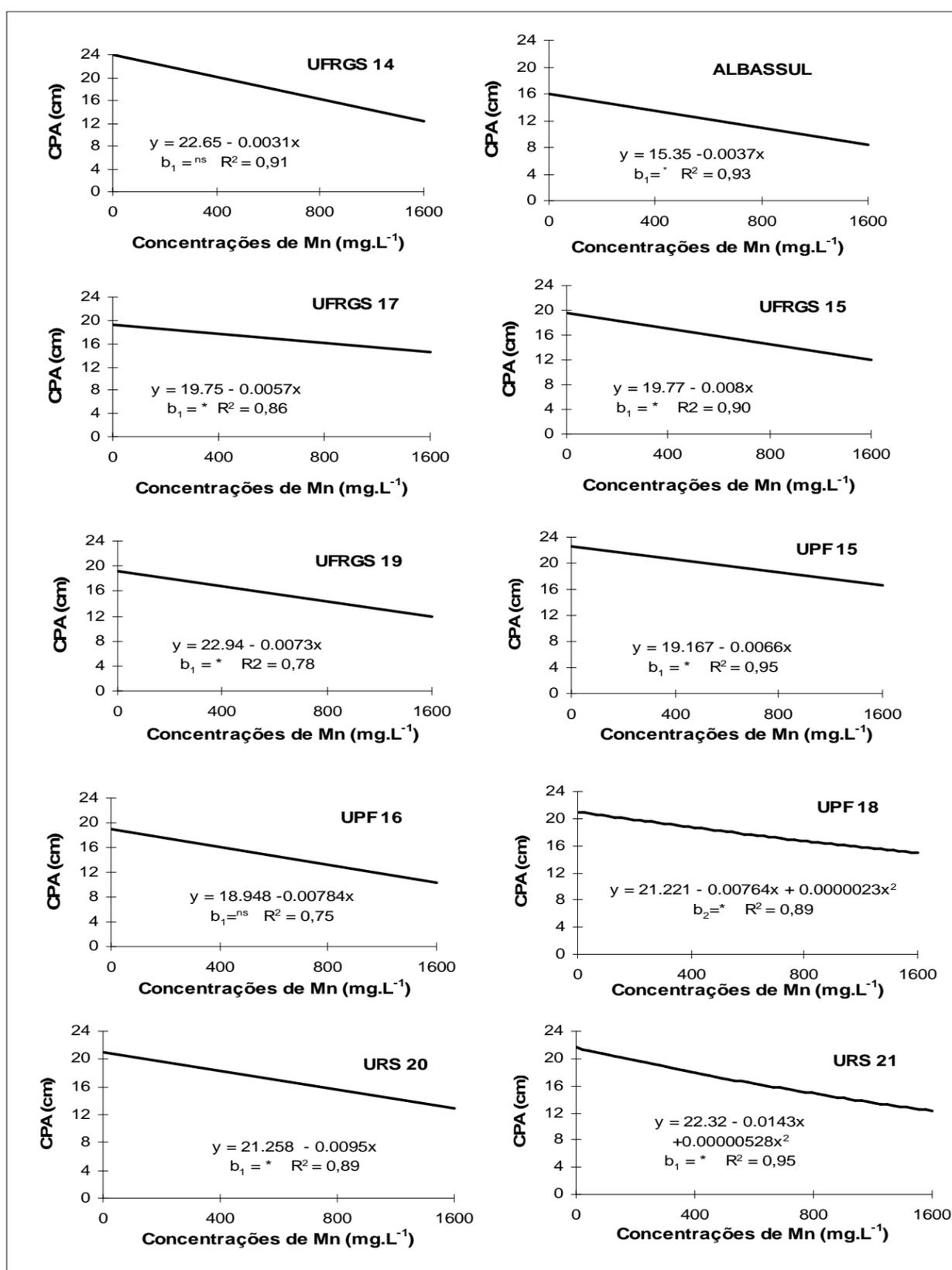
**Figura 2.** Resposta fenotípica de diferentes cultivares de aveia branca para o caráter comprimento de raiz (CR) com o incremento da concentração de  $Mn^{2+}$  na solução. FAEM/UPPel, 2006.

Para a variável CR (Figura 2), todas as cultivares apresentaram equação do tipo linear com o aumento da concentração de  $Mn^{2+}$ , portanto, os genótipos UPF 15, UPF 16, UPF 18, ALBASSUL, UFRGS 14, URS 21 e UFRGS 19 evidenciaram coeficientes de regressão ( $b_1$ ) significativos, e de sinal negativo, o que permite inferir que com o aumento da concentração do elemento químico ocorre redução no referido caráter. Nas cultivares citadas anteriormente, para cada  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  de manganês adicionado na solução, reduzem o CR em 0,00251, 0,00226, 0,258, 0,00310, 0,00469, 0,00229 e 0,0039cm, respectivamente. Neste sentido, considerando um solo de origem basáltica que apresenta, por exemplo, uma concentração média de  $1500 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $Mn^{2+}$ , as constituições genéticas apresentarão as seguintes estimativas de reduções no comprimento de raiz: UPF 15 (3,76cm), UPF 16 (3,39cm), UPF 18 (3,87cm), ALBASSUL (4,65cm), UFRGS 14 (7,04cm), URS 21(3,44cm) e UFRGS 19 (5,92cm).

As cultivares UFRGS 15, UFRGS 17 e URS 20 não revelaram significância para ( $b_1$ ), logo, a redução do CR com o aumento da

concentração de manganês em solução nutritiva não foi significativa (Figura 2). Esta ausência de significância, possivelmente esteja relacionada ao fato destes genótipos apresentarem elevada tolerância ao  $Mn^{2+}$ , pois não evidenciaram decréscimo significativo com o incremento deste íon metálico na solução.

No caráter CPA (Figura 3) seis das dez cultivares estudadas demonstraram equação do tipo linear: URS 20, UPF 15, UFRGS 19, UFRGS 17, UFRGS 15 e ALBASSUL. Além disso, evidenciaram  $b_1$  significativo e de sinal negativo. Portanto, a cada  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $Mn^{2+}$  adicionado em solução nutritiva, ocorre redução no CPA de 0,00951; 0,00669; 0,00737; 0,00574; 0,00861 e 0,00372cm, respectivamente. Desta forma, num solo onde a concentração média é de  $1500 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $Mn^{2+}$ , as cultivares a seguir apresentarão os seguintes valores de redução no CPA: URS 20 (14,26cm), UPF 15 (10,03cm), UFRGS 19 (11,06cm), UFRGS 17 (8,61cm), UFRGS 15 (12,91cm) e ALBASSUL (5,58cm). Já, as cultivares UFRGS 14 e UPF 16 não apresentaram valores significativos para  $b_1$  (Figura 3).



**Figura 3.** Resposta de diferentes cultivares de aveia branca para o caráter comprimento de parte aérea (CPA) com o aumento da concentração de Mn<sup>2+</sup> na solução. FAEM/UFPel, 2006.

As cultivares UPF 18 e URS 21 evidenciaram equação de regressão do tipo quadrática ( $CPA = a + bx + cx^2$ ), apresentando coeficientes de regressão ( $b_2$ ) significativos. Portanto, apresentaram as seguintes equações, respectivamente:  $CPA = 21,221 - 0,00764x + 0,0000023x^2$  e  $CPA = 22,320 - 0,0143x + 0,0000053x^2$ . Nesse sentido, utilizando o modelo de regressão  $(-b/2c)$  é possível estimar a concentração máxima que a partir da qual tende a paralisação no CPA, onde para o genótipo UPF 18 foi cerca de 1660mg.L<sup>-1</sup> e URS 21 1354mg.L<sup>-1</sup>.

Contudo, considerando o desempenho dos genótipos quanto ao caráter CR nas concentrações de Mn<sup>2+</sup>, as análises de médias e regressão indicaram que os genótipos UFRGS 17, URS 20 e UFRGS 15 evidenciaram elevada tolerância. Além disso, os resultados apresentados têm demonstrado a importância de utilização de mais de um parâmetro para interpretação dos resultados, visto que a análise de médias e a de regressão devem ser simultaneamente interpretadas para redução de erros no processo de seleção para tolerância ao Mn<sup>2+</sup> em hidroponia.

Trabalhos vêm comprovando que existem diferenças genéticas entre cultivares de trigo, aveia e soja (BROWN, & DEVINE, 1980; CAMARGO & OLIVEIRA, 1983; CAMARGO & FERREIRA, 1992) quanto à reação a toxidez

por manganês, evidenciado que há possibilidade da obtenção de constituições genéticas mais ajustadas em ambientes com elevada concentração deste íon metálico. Neste sentido, é possível desenvolver agricultura pelo emprego de cultivares tolerantes nas regiões onde o controle da acidez for difícil de ser executado.

## CONCLUSÃO

As doses entre 800 e 1200 mg L<sup>-1</sup> de Mn e o caráter comprimento de raiz são eficientes na identificação de genótipos de aveia tolerantes e sensíveis. As cultivares UFRGS 17, URS 20 e UFRGS 15 expressam tolerância ao Mn quando avaliadas em hidroponia.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. W. Fibra, doença cardiovascular e diabetes. In: Dieta e Saúde, **Abstract...** Rio de Janeiro, v.2, n.2, p.4-5, 1993.
- ANDRADE, J. M. V. **Identificação e seleção em casa de vegetação de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.), tolerantes ao alumínio tóxico e ao manganês com modificações das características químicas do solo.**

FINATTO et al. Caracterização de genótipos de aveia branca em diferentes concentrações de manganês em solução nutritiva Porto Alegre, 1976, 100 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1976.

BOHNEN, H. **Micronutrientes**: Princípios de Fertilidade do Solo. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 59 p.

BROWN, I.C.; DEVINE, T.E. Inheritance to tolerance resistance to manganese toxicity in soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.42, n.1, p.898-906, 1980. CAMARGO, C. E. de O.; FERREIRA, A. W. P. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de manganês em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.3, p. 417-422, 1992.

CAMARGO, C.E.O.; OLIVEIRA, O.F. Tolerância em cultivares de trigo a diferentes níveis de Mn em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v.42, n.1, p.65-78 1983.

CRUZ, C.D.; **Programa GENES – Versão Windows**, aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 684p.

DUCIC, T.; PULE, A. Transport and detoxification of manganese and cooper in plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v.17 n.1, p.103-112, 2005.

EDREVA A., APOSTOLOVA E. Manganese toxicity in tobacco: a biochemical investigation. **Agrochemical**, v.33, n.2, p.443–450, 1989.

FOY, C.D.; WEIL, R.R.; CORADETTI, C.A. Differential manganese tolerance of cotton genotypes in nutrient solution. **Plant Nutrition**. v.18, n.1, p.685–706, 1995.

HART, F.; GUTKOSKI, L.C.; ELIAS, M. C.; Caracterização química de cariopses de aveia (*Avena sativa* L.) da cultivar UPF 18. In: Anais da Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia, 21., 2000, **Abstracts...** Lages/SC, v.1, n.1, p.131-132, 2001.

HARTWIG, I.; **Eficiência da seleção na obtenção do ganho genético em aveia (*Avena sativa* L.)**. Projeto de Pesquisa, Fitomelhoramento - FAEM/UFPeI, 2005. MARSH, K. B.; PETERSON, L.A. **Gradients in Mn accumulation and changes in plant form for potato plants affected by Mn toxicity**. *Plant and Soil*, v.121, n.2, p.157-163, 1990.

OLIVEIRA, P.H. de. **Herança Genética e Mapeamento Molecular da Tolerância à Toxicidade do Alumínio em Aveia (*Avena sativa* L.)**. Porto alegre, 2002, 102p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PEDÓ, I.; SGABIERI, V.C.; Caracterização química de cultivares de aveia (*Avena sativa* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.17. n.2, p.78-83, 1997.

ROUT G.R.; SAMANTARAY, S.; DAS, P. Studies on differential manganese tolerance of mung bean and rice genotypes in hydroponic culture. **Crop Science**, v.2, n.2, p.725–733, 2001.

SAMANTARAY, S.; ROUT G.R.; DAS, P. Manganese toxicity in *Echinochloa colona*: Effects of divalent manganese on growth and development. **Journal Plant Science**, v.45, n.3, p. 9–12, 1997.

SILVA, J.A.G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; SILVA, S.A.; MARCHIORO, V.S.; LORENCETTI, C.; BENIN, G.; SCHIMDT, D.A.M.; HARTWIG, I. 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.