



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
INSTITUTO DE BIOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS



**ELEMENTOS EM NÍVEIS TÓXICOS E SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DE
GENÓTIPOS DE AVEIA BRANCA (*Avena sativa* L.) EM CULTIVO HIDROPÔNICO**

TACIANE FINATTO

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Campus Universitário s/nº
Caixa-postal 354 CEP 96010-900
Pelotas – RS – Brasil

2006

TACIANE FINATTO

**ELEMENTOS EM NÍVEIS TÓXICOS E SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO
DE GENÓTIPOS DE AVEIA BRANCA (*Avena sativa* L.) EM CULTIVO
HIDROPÔNICO**

Monografia de Conclusão de Curso,
apresentada ao Curso de Ciências
Biológicas da Universidade Federal de
Pelotas, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Ciências Biológicas

Orientador: Prof. Fernando Irajá Félix de Carvalho (Ph.D)

Pelotas, 2006

Banca Examinadora:

Prof. Fernando Irajá Félix de Carvalho (PhD)

Engenheiro Agrônomo - PhD *in Genetics* –
Professor Adjunto Departamento de
Fitotecnia FAEM/UFPeI

Profa. Dra. Beatriz Helena Gomes Rocha

Engenheira Agrônoma – Doutora em Ciência e
Tecnologia de Sementes –
Professor Adjunto - Departamento de Zoologia e
Genética IB/UFPeI

Prof. Dr. José Antônio Gonzalez da Silva

Engenheiro Agrônomo - Doutor em Genética
e Melhoramento de Plantas
Professor PRODOC, Departamento de
Fitotecnia FAEM/UFPeI

*Aos meus pais
Mário Antônio Finatto e
Ivete Fátima Carbonari Finatto,
Com Amor, Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde, e aos meus pais pelos ensinamentos, sempre procurando o melhor e apontando como e quais os caminhos a serem trilhados em minha vida, se hoje concluo mais uma etapa de minha formação, vocês são responsáveis. Por tudo, Muito Obrigada!

Ao Prof. Fernando Irajá Felix de Carvalho, sábio mestre, agradeço pela orientação, ensinamentos e incentivo, és um exemplo de pesquisador.

Agradeço ao Prof. José Antônio Gonzalez da Silva, pela orientação na condução dos experimentos no Laboratório de Duplo-Haplóides e Hidroponia e na preparação deste e dos demais trabalhos realizados.

Ao Prof. Antônio Costa de Oliveira e aos demais colegas do Centro de Genômica e Fitomelhoramento: Daniel A. R. Fonseca, Cecília E. S. Reis, Cyrano C. Busato, Guilherme Ribeiro, Gustavo da Silveira, Graciele Pucinelli, Laerte R. Terres, Igor P. Valério, Douglas A. M. Schimdt, Ivandro Bertan, Irineu Hartwig, Silvisnei da Costa e Silva, Henrique Moliterno, Luciano C. Maia, Giovani Olegário, Andreza F. M. Dionello, Emília Malone, Juliana Castelo Branco, Albina Bernardes, Adriana P. Soares, Claudete Mistura, Viviane C. Duarte, Eduardo A. Vieira, Luís Fernando Martins, Claudir Lorencetti, Giovani Benin, Melissa B. Maia, Viviane K. da Luz, Vanessa Oliveira, Sandra Muller Garcia e Maurício M. Kopp, sempre dispostos a colaborar, esclarecer dúvidas e também, dar boas risadas e apreciar um bom mate.

Aos meus irmãos Roberto Antônio e Franciel Ângelo, dois grandes e verdadeiros amigos, agradeço pelo apoio, e principalmente pela confiança em mim depositada.

Ao Jair pelo estímulo e colaboração incansáveis em todos os momentos, desde o princípio. Você é muito especial!

Agradeço ao Cleber Carbonari, pela amizade, sempre disposto a colaborar, és responsável pelos meus primeiros passos no Centro de Genômica e Fitomelhoramento.

Aos amigos e colegas do Curso de Ciências Biológicas, João R. V. Iganci, Adriana G. Larrondo, Alessandra M. da Rocha, Fernanda C. S. Vasconcellos, Michele U. de Sá e Dávia M. Talgatti, obrigada pelos momentos de descontração, pelas produtivas discussões e reflexões, enfim, por fazerem parte de minha vida neste período.

RESUMO

FINATTO, T.; **Elementos em níveis tóxicos e seus efeitos no desenvolvimento de genótipos de aveia branca (*Avena sativa* L.) em cultivo hidropônico.** 2006. 57f. Monografia de Conclusão de Curso. Curso de Ciências Biológicas Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS.

Este estudo apresenta os resultados da caracterização de dez cultivares de aveia branca quanto à tolerância e sensibilidade à toxicidade ocasionada pelos elementos químicos alumínio e manganês. E da determinação do caráter e concentração que melhor diferenciam genótipos de aveia tolerantes e sensíveis à toxicidade por manganês. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Duplo-Haplóides e Hidroponia – FAEM/UFPel. Foram realizados ensaios utilizando soluções nutritivas em cultivo hidropônico com concentrações 10, 15 e 20 mg.L⁻¹ de alumínio e 0,11; 400; 800 e 1600mg.L⁻¹ de manganês. O delineamento experimental foi completamente casualizado com três repetições. Foram mensurados os caracteres; retomada do crescimento de raiz para avaliar a tolerância e sensibilidade ao alumínio, comprimento da parte aérea e comprimento da raiz principal para caracterizar a tolerância e sensibilidade ao manganês. As concentrações de 20mg.L⁻¹ de alumínio e 800 e 1600mg.L⁻¹ de manganês em solução nutritiva permitiram discriminar de modo mais preciso os diferentes genótipos de aveia branca quanto à toxicidade por estes elementos. O caráter comprimento de raiz foi o que melhor diferenciou os genótipos de aveia quanto à tolerância ao manganês. As cultivares URS 20 e UFRGS 17 apresentaram elevada tolerância a ambos elementos químicos, enquanto UFRGS15 evidenciou somente tolerância ao manganês e UFRGS 14 tolerância ao alumínio. Estas cultivares podem ser recomendados para cultivo em solos ácidos que apresentam elevados níveis de alumínio e manganês e utilizados em blocos de cruzamento nos programas de melhoramento genético de plantas para transferência do caráter em genótipos elite de aveia branca.

Palavras-chave: cultivo hidropônico, *Avena sativa* L., tolerância ao alumínio, tolerância ao manganês, melhoramento de plantas.

Lista de Ilustrações

Figura 1	Sementes colocadas em gerbox para germinação.....	27
Figura 2	Germinação em câmara BOD.....	27
Figura 3	Plântulas com aproximadamente 1cm de radícula.....	27
Figura 4	Plântulas em tela plástica com suas raízes imersas em solução-base.....	28
Figura 5	Plântulas em solução-base após tratamento com Al^{3+}	28
Figura 6	Detalhe da retomada do crescimento de raiz a partir do ponto de dano.....	28
Figura 7	Plântulas em solução nutritiva adicionada de 1600 mg.L^{-1} Mn^{2+} após 10 dias de tratamento.....	30
Figura 8	Avaliação do comprimento de raiz e comprimento da parte aérea após 12 dias de tratamento.....	30
Figura 9	Regressões para o carácter retomada do crescimento de raiz (RCR).....	36
Figura 10	Representação gráfica da variação no comprimento e raiz (CR).....	40
Figura 11	Representação gráfica da variação no comprimento da parte aérea (CPA).....	41
Figura 12	Regressões para o carácter comprimento de raiz (CR).....	44
Figura 13	Regressões para o carácter comprimento de parte aérea (CPA).....	45

Lista de Tabelas

Tabela 1	Resumo da análise de variância conjunta para o caráter retomada do crescimento de raiz (RCR).....	32
Tabela 2	Análise de médias pelo teste de Tukey para o caráter retomada do crescimento de raiz (RCR).....	32
Tabela 3	Resumo da análise de variância da regressão para a variável retomada do crescimento de raiz.....	35
Tabela 4	Resumo da análise de variância de forma geral e fixa para os caracteres comprimento de raiz (CR) e comprimento de parte aérea (CPA).....	39
Tabela 5	Análise de médias pelo teste de Scott & Knott para os caracteres comprimento da parte aérea e comprimento de raiz (CR).....	40

Sumário

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	12
2.1 A Cultura da Aveia.....	12
2.1.1 Descrição Botânica da Aveia.....	13
2.1.2 Melhoramento da Aveia no Brasil.....	14
2.1.2.1 Os Objetivos do Melhoramento de Aveia	15
2.2 O alumínio no solo.....	16
2.2.2 Mecanismos de Tolerância à Fitotoxicidade do Alumínio.....	18
2.2.3 Métodos de seleção para tolerância ao Alumínio.....	20
2.3 O Manganês como Elemento Essencial.....	21
2.3.1 O Manganês tóxico no solo	21
2.3.2 Os Efeitos Fitotóxicos do Manganês	22
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 Caracterização de Genótipos de Aveia Branca Quanto a Resposta a Diferentes Concentrações de Alumínio em Solução Nutritiva.....	25
3.2 Caracterização de Genótipos de Aveia Branca Quanto a Resposta a Diferentes Concentrações de Manganês em Solução Nutritiva.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Caracterização de Genótipos de Aveia Branca Quanto a Resposta a Diferentes Concentrações de Alumínio em Solução Nutritiva.....	31
4.2 Caracterização de Cultivares de Aveia Branca Quanto a Resposta a Diferentes Concentrações de Manganês em Solução Nutritiva.....	38
5 CONCLUSÕES	47
6 REFERÊNCIAS	48

1 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, a aveia é cultivada principalmente na região Sul, no período de estação fria, sendo grandemente empregada para alimentação animal, devido à facilidade de cultivo, e ao bom valor nutricional da planta e dos grãos.

A aveia destaca-se dentre os outros cereais pela quantidade e qualidade protéica, variando de 12,40 a 24,50% no grão descascado e pela maior percentagem de lipídeos que varia de 3,10 a 10,9% (HART; GUTKOSKI; ELIAS, 2001). Além disso, possui 9-11% de fibra alimentar total, que é responsável pelos efeitos benéficos à saúde humana (ANDERSON, 1993; PEDÓ; SGARBIERI, 1997). É fonte de vitaminas e sais minerais como ferro, flúor, fósforo, enxofre e magnésio.

Os produtos contendo fibra de aveia reduzem o risco de doenças cardiovasculares, diabetes, hipertensão e obesidade. Além disso, diminuem as concentrações séricas de colesterol total, lipídeos totais e triglicerídeos de forma significativa e aumentam ainda a fração de colesterol-HDL, conhecido como o colesterol benéfico. Devido a estas propriedades, a aveia é considerada um alimento funcional (FLORES; BASTOS; CHANG, 2000).

A alta acidez dos solos do sul do Brasil, associada à grande concentração de Al^{3+} e Mn^{2+} , representa um sério problema para adaptação de diferentes cereais, e conseqüentemente, genótipos que apresentam maior sensibilidade ao Al^{3+} e Mn^{2+} demonstram menor capacidade de superar os fatores bióticos e abióticos, que podem ser prejudiciais às culturas.

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 apresentam elevadas concentrações de alumínio (Al^{3+}) e manganês (Mn^{2+}), responsáveis por sérios prejuízos, devido à toxicidade destes elementos químicos às plantas.

O fator limitante ao aumento da produtividade das culturas em solos ácidos, manifesta-se pela diminuição no desenvolvimento do sistema radicular, bem como por sua interferência na absorção, transporte e utilização de nutrientes (SILVA; NOVAIS; SEDIYAMA, 1984).

A correção da acidez do solo utilizando a calagem é uma das tentativas de reduzir os efeitos tóxicos por Al^{3+} e Mn^{2+} , 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 dos 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.

A absorção e o acúmulo de Al^{3+} em diferentes partes da planta afetam células e organelas em nível morfológico, citogenético e fisiológico, prejudicando consideravelmente o desenvolvimento de genótipos sensíveis (KUMAR; DUSHENKOV; MOTTO, 1995).

O manganês é um micronutriente essencial em todos os estágios de desenvolvimento das plantas, sendo de fundamental importância na fotossíntese, pois é responsável pela ativação de diversas enzimas que atuam neste processo (DUCIC; POOLLE, 2005). Este elemento, 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, seguida de pontuações necróticas na superfície e necrose marginal; 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 estes metais, tais como; testes a campo, em laboratório utilizando soluções nutritivas ou cultivo em vasos em casa de vegetação.

Uma técnica eficaz para avaliar a tolerância à toxicidade ao Al^{3+} e Mn^{2+} é o emprego do cultivo hidropônico utilizando soluções nutritivas em laboratório, pois permite controlar de forma mais confiável as variáveis de ambiente como temperatura, luminosidade, nutrientes, pH e intempéries, além de permitir avaliar de forma distinta os efeitos do alumínio e do manganês.

A reação de genótipos de aveia ao Al^{3+} em hidroponia, pode ser detectada por meio de diferentes parâmetros: aferições do peso seco da parte aérea e das raízes, da translocação de fósforo das raízes para a parte aérea, comprimento de raízes, comprimento relativo da raiz e retomada do crescimento de raiz, podem estabelecer diferenças entre genótipos sensíveis e tolerantes (SANCHÉZ-CHÁCON et al., 2000).

A seleção de constituições genéticas tolerantes à toxidez por Mn^{2+} em solução nutritiva, também pode ser realizada a partir da análise de diferentes caracteres como: comprimento de raiz em trigo (CAMARGO; OLIVEIRA, 1983; MARTINS, 2003), e comprimento de raiz e parte aérea em plântulas de feijão e arroz (ROUT, SAMANTARAY; DAS, 2001).

OBJETIVOS

Caracterizar genótipos de aveia branca quanto à tolerância ao Al^{3+} , através da mensuração da retomada do crescimento de raiz, e quanto à tolerância ao manganês pela avaliação de diferentes caracteres em plântula, a fim de determinar o melhor caráter de seleção sob condições de hidroponia.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A CULTURA DA AVEIA

Atualmente, a aveia é cultivada nas mais diferentes regiões do mundo, adaptando-se a climas temperados e subtropicais. No Brasil, principalmente na região Sul, é apontada como um dos cereais de maior importância do ponto de vista agrônomo, devido aos variados fins de cultivo, permitindo a produção de grãos utilizados na alimentação humana e animal, a formação de pastagens, elaboração de feno e a utilização de cobertura verde ou morta no solo.

O cereal se destaca na alimentação humana devido as importantes propriedades nutricionais que possui, apresenta alta concentração de carboidratos nos grãos, entretanto, se distingue em relação aos demais cereais por apresentar proteínas de elevada qualidade. Além disso, a aveia apresenta vitaminas essenciais, minerais, ácidos graxos, antioxidantes e fibras que a colocam como um cereal de grande importância (PETERSON, 1992).

Portanto, a inclusão desta cultura nos sistemas de produção propicia melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, a redução de moléstias e pragas de outras culturas e o controle alelopático em plantas daninhas (HARTWIG, 2005).

O cultivo da aveia, no Brasil, vem crescendo continuamente em área e rendimento nos últimos anos, classificando-se em 2001 como a sétima cultura em área cultivada e a oitava em produção de grãos, com rendimento médio de 1.329 kg.ha⁻¹ (COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 2003).

No Brasil, o cultivo da aveia visando a produção de grãos, a forragem e a adubação verde, está concentrada na região Sul. No Mato Grosso do Sul, São Paulo e Sul de Minas Gerais, o cultivo desta espécie, é destinado basicamente, à produção de forragem, mas mostra aumentos crescentes também na área destinada à produção de grãos.

2.1.1 DESCRIÇÃO BOTÂNICA DA AVEIA

A *Avena sativa* L. (aveia branca) pertence a classe Divisão Monocotiledonea, Ordem Poales e Família Poaceae (SOUZA;LORENZI, 2005).

O centro primário de origem é a Ásia (FLOSS, 1988). No princípio, a aveia não figurava como um cereal de importância para o homem, tendo persistido como planta invasora em lavouras de trigo e cevada, que eram culturas mais importantes naquele momento (COFFMAN, 1961).

A aveia é uma planta anual, podendo ultrapassar um metro de altura, em condições favoráveis produz em média quatro a cinco afilhos. As raízes são do tipo fasciculada, pequenas, mas em grande número, e sua formação fibrosa facilita a penetração no solo. Apresenta colmos cilíndricos e eretos, compostos de uma série de nós e entrenós. Suas folhas inferiores apresentam lígula obtusa de 7 a 15 mm e margem denticulada, com lâminas de 14 a 40 cm de comprimento por 5,5 a 22 mm de largura. A inflorescência é uma panícula piramidal e difusa que apresenta espiguetas contendo um grão primário, um grão secundário e, raramente um terceiro grão. O ciclo varia de 120 a 200 dias dependendo a constituição genética e da época de semeadura (FLOSS, 1988).

A *Avena sativa*, juntamente com *Avena sterilis*, *Avena fatua* e *Avena nuda*, é uma espécie hexaplóide: ($2n=6x=42$) e possui o genoma AACCCDD. Apesar destas espécies possuírem seis conjuntos de sete cromossomos, elas têm os genomas diferenciados com pareamento normal, formando bivalentes semelhante a uma espécie diplóide. É um alopoliplóide formado naturalmente em dois eventos distintos: a) cruzamento entre duas espécies diplóides com a formação de um híbrido F_1 , seguido da duplicação do número cromossômico, formando uma espécie tetraplóide provavelmente com genoma (AACC); b) cruzamento da espécie tetraplóide com outra espécie diplóide, formando um híbrido F_1 , seguido da duplicação do número cromossômico para formar a espécie hexaplóide AACCCDD. A origem do genoma DD é desconhecida e nenhuma espécie diplóide conhecida possui este genoma.

Estudos recentes de genética molecular demonstraram que o genoma mais antigo entre as Poáceas é o do arroz, e que os demais cereais como trigo, aveia, cevada e milho se originaram daquele genoma. Existem suficientes evidências de que muitos genes associados a caracteres quantitativos são os mesmos e podem

ser idênticos por descendência nas diferentes espécies de Poáceas (WILSON et al., 1996).

2.1.2 MELHORAMENTO DA AVEIA NO BRASIL

Os primeiros trabalhos de experimentação com aveia foram realizados na década de 30 por Iwar Beckman, na Estação Experimental de Bagé, quando foram introduzidas variedades da Argentina e do Uruguai, testadas quanto ao seu desempenho e adaptação ao ambiente brasileiro (BOERGER, 1943). Nos anos 50, o Instituto Agrônomo do Sul (IAS), localizado em Pelotas, realizou trabalhos com aveia liberando uma série de variedades com a sigla IAS. Mesmo assim, ao final da década de 60 e início da década de 70, a área cultivada para produção de grãos era insignificante e a maioria dos genótipos de aveia cultivadas no Brasil, eram oriundos do Uruguai e da Argentina e tinham características típicas de plantas forrageiras.

Em 1974, Fernando I. F. de Carvalho, Professor da Faculdade de Agronomia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre, recebeu uma coleção de linhas puras, e populações segregantes da geração F_2 , do Professor Shands da Universidade de Wisconsin, o que deu início ao melhoramento genético da aveia no Brasil, através da seleção de constituições genéticas adaptadas a esta região do Rio Grande do Sul. Em 1976, a Universidade de Passo Fundo recebeu todo o germoplasma de aveia do CNPTrigo e sob a coordenação do Professor Elmar Floss, iniciaram fortes com pesquisa de aveia naquela região (FEDERIZZI et al., 1999).

Posteriormente, a Cooperativa Regional Serrana (Cotrijuí) e a Cooperativa Agrária Mista Entre Rios, Guarapuava – Paraná, desenvolveram trabalhos de experimentação com aveia nestes locais, e em 1978, foi realizada a primeira reunião conjunta de pesquisa de aveia, onde foram elaboradas normas para lançamento e experimentação regional de novas linhagens de aveia. Mais recentemente, o Instituto Agrônomo do Paraná (Londrina e Ponta Grossa), a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e a Universidade para o Desenvolvimento do Estado de Santa Catarina (UDESC), o IAC em São Paulo, e a Embrapa de São Carlos, lançaram uma série de variedades para cultivo naquela região (FEDERIZZI et al., 1999).

A introdução de linhas puras, e populações segregantes nas gerações F_2 e F_3 , que apresentavam melhor qualidade, elevado rendimento de grãos e menor estatura

de planta, através de intercâmbios com instituições internacionais, possibilitou o desenvolvimento de novas linhagens por instituições locais. Podem ser destacados os trabalhos pioneiros da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Universidade de Passo Fundo (UPF) que desenvolveram cultivares com nova arquitetura de planta, maior precocidade, melhor qualidade de grãos e, principalmente, alto potencial de rendimento de grãos (CARVALHO e FEDERIZZI, 1989).

Desde então, o melhoramento genético da cultura vem obtendo excelentes resultados para caracteres como rendimento de grãos, ciclo, peso hectolitro, peso médio de grãos, índice de colheita, número de grãos por panícula, estatura de planta, tolerância ao alumínio entre outros (BARBOSA NETO et al., 2000).

2.1.2.1 OS OBJETIVOS DO MELHORAMENTO DE AVEIA

No princípio a aveia deveria ser uma alternativa de inverno, viável de maneira a se integrar ao novo sistema de produção de grãos que estava sendo implantado pelos produtores rurais do sul do Brasil. Assim, a adaptação ampla aos diversos ambientes e aos sistemas de produção foi o primeiro objetivo do melhoramento genético da aveia.

Além disto, outros caracteres foram sendo selecionados como: redução da estatura e resistência ao acamamento, redução do ciclo total da cultura de 180 dias para 140 dias foi importante, pois permitiu que os agricultores que cultivavam aveia no inverno semeassem a soja na época recomendada; a resistência às moléstias, como ferrugem da folha causada pelo fungo *Puccinia coronata* f.sp. *avenae* que é responsável por danos severos à cultura e é uma das mais importantes moléstias principalmente para a Região Sul do Brasil, onde as primaveras são mais quentes e têm alta umidade relativa do ar e ferrugem-do-colmo causada pelo fungo *Puccinia graminis* f.sp. *avenae* de menor ocorrência mas de maior importância nas regiões mais quentes como norte do Paraná, ou no fim do ciclo da cultura no Rio Grande do Sul.

Constituições genéticas que evidenciem além dos caracteres anteriormente citados, tolerância ao alumínio e manganês, quando estes elementos compõem elevadas concentrações nos solos, são fatores fundamentais para expandir o cultivo desta espécie em regiões que apresentam solos ácidos. Carvalho et al., (1987)

relatam que o sucesso da aveia está altamente associado ao ajuste de novos genótipos às condições de ambiente e a estabilidade do rendimento de grãos diante das variações dos sistemas de cultivo.

2.2 O ALUMÍNIO NO SOLO

O alumínio (Al), é o metal presente em maior abundância no solo e tem sido extensivamente relatado como um dos principais agentes relacionados com a baixa produtividade de cereais em solos ácidos. Somente a toxidez por alumínio, é o fator que limita a produtividade agrícola em 67% da área total de solos ácidos no mundo (ESWARAN; REICH; BEIGROTH, 1997). A toxicidade do alumínio é um problema mais sério em subsolos fortemente ácidos, onde a aplicação de calcário é dificultada impedindo o aprofundamento das raízes, diminuindo a tolerância à seca e interferindo na absorção e translocação de nutrientes como fósforo, cálcio, magnésio, potássio, ferro e molibdênio (FOY, 1976; OETTLER, WIETHOLTER; HORST, 2000).

O alumínio ocorre em diferentes formas no solo, e parte da dificuldade em estudar os processos que ocorrem nas plantas, decorrentes da ação deste metal, pode ser atribuída à complexa química do mesmo. O Al se hidrolisa em solução de tal modo que a espécie trivalente, Al^{3+} , predomina em soluções ácidas ($\text{pH} < 5$), enquanto as espécies $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ e $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ são formadas quando o pH aumenta (ECHART ; CAVALLI-MOLINA, 2001). O fator limitante de maior importância ao desenvolvimento das plantas em solos ácidos é a toxidez por alumínio (OETTLER; WIETHOLTER; HORST, 2000).

As concentrações de Al na solução do solo estão relacionadas com o pH, saturação de Al da CTC efetiva, e ainda, com as concentrações de sais no solo. Em solução ácida o alumínio é trivalente, cada íon de Al^{3+} , é coordenado por moléculas de água, formando $\text{Al}^{3+}(\text{H}_2\text{O})_6$. Com o aumento do pH, inicialmente ocorre a perda de um e, posteriormente, dois H^+ , para formar OH^- (ou uma molécula de cátion é substituída por uma OH^-), formando cátions mono ou divalentes hidroxialumínio. Todas estas três formas são adsorvidas pelos sítios de troca no solo (GIANELLO; BISSANI; TEDESCO, 1995).

Nos solos ácidos, a forma Al^{3+} é mais importante em relação à toxidez deste elemento para plantas. Ao diminuir o pH, aumentando a concentração de prótons no

meio, haverá um aumento correspondente de íons Al^{3+} na solução. Enquanto o Al^{3+} trocável for alto, a absorção pela planta também será elevada (FAGERIA, 1984).

Segundo Nass et al. (2001) quando as condições locais do solo não são aquelas ideais para o crescimento de determinada planta, existem duas opções básicas para abordar o problema: alterar o solo ou alterar a planta.

O meio mais comum para reduzir a saturação de alumínio e, ainda, corrigir a acidez dos solos tem sido a aplicação de calcário. Entretanto, para ser efetivo, o calcário deve ser misturado ao volume de solo que se deseja corrigir. No entanto, com a difusão do sistema de plantio direto, sem o revolvimento do solo, foi prejudicada a incorporação do calcário nas camadas mais profundas, abaixo de 20 a 30 cm. Os produtores continuam usando esta prática, mas aplicando o calcário somente na superfície do solo. Além disso, a quantidade de calcário aplicada varia de duas a quatro toneladas por hectare, ao custo de R\$ 120,00 a 240,00/ha, valores que podem aumentar quando se referem a locais mais distantes das regiões de extração de CaCO_2 .

Através do melhoramento genético, foram desenvolvidas cultivares tolerantes ao alumínio. Este fato faz com que a utilização de genótipos adaptados à acidez e eficientes no uso de nutrientes seja o objetivo a ser atingido para uma agricultura sustentável em solos ácidos. (NASS et al., 2001)

2.2.1 A FITOTOXICIDADE DO ALUMÍNIO

Os primeiros sintomas do efeito tóxico do Al^{3+} relatados no Brasil foram para trigo e outros cereais de estação fria, onde Beckmann (1954) observou o amarelecimento e redução do crescimento da parte aérea dessas espécies, o que denominou de “crestamento”; entretanto, trabalhos visando identificar a influência da concentração de alumínio no solo no desenvolvimento das plantas são descritos internacionalmente na literatura desde 1912, (MAGISTAD, 1925).

Os principais efeitos da toxidez por alumínio nas plantas são: redução do desenvolvimento das raízes, devido à inibição da divisão celular; engrossamento e pouca ramificação das raízes, devido à desorganização dos meristemas; escurecimento das raízes devido à necrose dos tecidos; acumulação do Al^{3+} no protoplasma e núcleo das células do córtex das raízes; baixa concentração de

fósforo (P) na planta, devido à redução na absorção e translocação deste para a parte aérea (GIANELLO; BISSANI; TEDESCO, 1995).

Estes distúrbios no sistema radicular das plantas prejudicam o desenvolvimento da parte aérea, que pode apresentar sintomas de deficiência de P, devido à dificuldade na sua translocação. Por exemplo, o crestamento do trigo pode ocorrer em manchas de solo com alto teor de Al^{3+} em lavouras não corrigidas; as plantas não se desenvolvem, apresentam coloração amarelada e muito baixo rendimento.

Segundo Cançado, Lopes e Paiva (1999), em algumas espécies as injúrias causadas pelo Al^{3+} podem aparecer como uma deficiência induzida de cálcio (Ca^{2+}), devido aos problemas na sua translocação. O enrolamento ou encurvamento de folhas jovens e o colapso dos pontos de crescimento causam o bloqueio dos canais de influxo de cálcio, prejudicando o transporte deste elemento, o que representa influenciar de forma negativa enzimas envolvidas na assimilação de nitrogênio nas plantas, alterando a permeabilidade da membrana plasmática, por alteração na fluidez dos lipídeos.

As espécies vegetais e as diferentes constituições genéticas pertencentes à mesma espécie diferem amplamente quanto a sua tolerância ao Al^{3+} (SCOTT; FISHER, 1989). Entre os cereais a cevada é considerada a espécie cultivada que evidencia maior sensibilidade (PERUZZO ; ARIAS, 1996), a mais ampla tolerância ao Al^{3+} tem sido reportada em trigo (BAIER et al. 1995).

2.2.2 MECANISMOS DE TOLERÂNCIA À FITOTOXICIDADE DO ALUMÍNIO.

Os genótipos de aveia respondem diferencialmente à toxicidade de Al^{3+} e apresenta baixa herdabilidade no sentido restrito e moderada a alta no sentido amplo. Além disto, é um caráter geneticamente herdável controlado por um par de alelo, com ação gênica de dominância (SANCHÉZ, et al., 2000).

Em aveia, Wagner, Milach e Federizzi (2001) obtiveram resultados indicando a presença de um a dois genes dominantes, determinando a expressão da tolerância ao Al^{3+} . Já, Oliveira (2002) afirma que é controlado por um gene com alelos múltiplos. Segundo Nass, (2001), vários estudos confirmam que o número de genes, bem como a ação gênica, varia de acordo com o nível de alumínio utilizado na solução, dificultando a comparação do grau de sensibilidade em diferentes concentrações de Al^{3+} .

Na cultura do milho, a presença de Al^{3+} na rizosfera induz a exsudação de citrato no ápice das raízes, causando a redução da atividade e quelando o Al^{3+} tóxico na superfície das raízes. A acidificação do ambiente extracelular provocado pelo alumínio causa a ativação de canais de ânions, estes canais ativados podem ser permeáveis a ácidos orgânicos mediando desta forma a tolerância ao alumínio (PIÑEROS; KOCHIAN, 2001)

Segundo et al. (2002), genótipos de milho sensíveis ao Al^{3+} evidenciaram duas a três vezes mais alumínio nos ápices de suas raízes que os genótipos tolerantes. Estes autores classificaram os mecanismos de tolerância ao Al^{3+} em milho em duas classes distintas: aqueles que operam para excluir o Al^{3+} do ápice de raiz e aqueles que permitem para a planta tolerar a acúmulo de Al^{3+} no simplasto das células da raiz.

Para Delhaize, Ryan e Randall (1993), existe correlação consistente entre tolerância ao Al^{3+} e elevadas taxas de excreção de ácido málico em trigo, e nesta cultura, o locus *Alt1* codifica para tolerância ao alumínio baseado no mecanismo excreção de ácido málico em resposta ao estímulo de toxidez por Al^{3+} .

Na cultura do triticale, Ma et al. (2000) observaram que os genes presentes no braço curto do cromossomo 3R induziram a exsudação de ácidos orgânicos e que este foi o principal mecanismo de tolerância ao Al^{3+} . De acordo com o estudo de Larsen et al. (1998), em um mutante de *Arabidopsis thaliana* tolerante ao íon metálico a exsudação de ácidos orgânicos foi o mecanismo de exclusão do Al^{3+} .

Zheng, Ma e Matsumoto (1998), relataram que a secreção contínua de ácidos orgânicos em elevados níveis foi observada em plantas com elevado grau de tolerância o Al^{3+} . Ma e Miyasaka (1998) verificaram em inhame que oxalato liberado na rizosfera, ocasionava a desintoxicação do Al^{3+} , utilizado como um mecanismo adicional de tolerância em altos níveis de Al^{3+} .

Outro possível mecanismo que evita a adsorção de Al^{3+} é a secreção de mucilagem carregada negativamente na raiz, para prevenir a migração do Al^{3+} para o meristema radicular (MIYASAKA E HAWES, 2001). A remoção da mucilagem no ápice da raiz de uma cultivar de feijão-de-corda tolerante ao Al^{3+} , diminuiu a alongação da raiz na presença de Al^{3+} (HORST; FECHT, 1999). Li et al. (2000) também demonstraram que o Al^{3+} liga-se fortemente à mucilagem em milho.

Variedades de trigo, arroz, cevada e alguns híbridos de milho aumentam o pH do solo ou da solução nutritiva na rizosfera, fazendo com que o alumínio se torne

menos solúvel diminuindo sua toxicidade (FOY, 1988). Por outro lado, as cultivares sensíveis de algumas espécies diminuem ou não tem efeito sobre o pH do solo e de sua rizosfera quando suas raízes estão expostas a altas concentrações de Al^{3+} por longos períodos, fazendo com que as mesmas sofram engrossamento e morte celular (BAIER, 1995).

2.2.3 MÉTODOS DE SELEÇÃO PARA TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO

Diferentes métodos de seleção têm sido empregados para seleção de plantas tolerantes ao Al^{3+} : a cultura em campo ou em solo sob condições controladas e cultura em soluções nutritivas (ECHART ; CAVALLI-MOLINA, 2001). As diferenças entre os genótipos quanto a reação ao alumínio tóxico, com medições do peso seco da parte aérea e das raízes, da translocação de fósforo das raízes para a parte aérea, comprimento das raízes, comprimento relativo da raiz e recrescimento de raízes (SANCHÉZ, et al. 2000).

Vários trabalhos em cereais referenciam a viabilidade de separar genótipos sensíveis e tolerantes ao Al^{3+} tóxico pela reação na morfologia da raiz. Camargo e Oliveira, (1981), Dornelles, et al., (1997), Sanchéz, et al., (2000), Wagner et al., 2001 e Oliveira (2002) demonstraram que a toxicidade ao Al^{3+} provoca redução nos valores deste caráter nas cultivares sensíveis, à medida que é elevada a concentração do elemento na solução nutritiva ocorre diminuição ou paralisação do desenvolvimento das raízes.

A avaliação de plântulas submetidas ao cultivo hidropônico, em laboratório, é um método eficiente e confiável, no qual se observa a formação do recrescimento da raiz após o tratamento com Al^{3+} na solução, podendo discriminar fenotipicamente os genótipos como tolerantes ou sensíveis (CAMARGO; OLIVEIRA, 1981). Nas plântulas sensíveis as raízes primárias não crescem e permanecem engrossadas mostrando no ápice uma injúria típica (DORNELLES et al., 1997). Em hidroponia é possível diferenciar os genótipos quanto à tolerância ao Al^{3+} de forma mais confiável pelo controle de variáveis de ambiente como temperatura, luminosidade, nutrientes, pH e intempéries.

Em experimentos empregando solos sob condições controladas, é difícil selecionar solos que sejam adequados para uso em seleção de plantas tolerantes ao Al^{3+} , visto que em solos a toxicidade ao Al^{3+} não é o único fator limitante. Além disso, o efeito primário do Al^{3+} nas plantas é a inibição do crescimento da raiz, e as

raízes não são facilmente observáveis em solo (ECHART ; CAVALLI-MOLINA, 2001). Além disto, há a necessidade de grandes áreas experimentais para testar maior quantidade de genótipos, e tempo necessário para avaliação pois seria preciso um ciclo completo da cultura para realização das avaliações.

No cultivo em vasos em casa de vegetação, as dificuldades encontradas seriam a limitação do crescimento radicular pelo pequeno volume de solo disponível e a alteração das propriedades físicas do solo (NASS et al., 2001).

2.3 O MANGANÊS COMO ELEMENTO ESSENCIAL

O manganês (Mn), ao contrário do alumínio, é um elemento essencial para a vida da planta, satisfazendo tanto o critério direto quanto o indireto de essencialidade em todos os estádios de desenvolvimento das plantas (ARNON, 1950). O Mn tem um papel importante nas funções vitais da planta, atua como cofator de várias enzimas, tais como: Mn-superoxido dismutase, Mn-catalase, piruvato carboxilase e fosfoenolpiruvato carboxiquinase.

A incorporação de Mn pelas células é essencial, particularmente na fotossíntese, quando o Mn inicia um papel crucial como acumulador de cargas positivas equivalentes na reação catalisada no fotossistema II (MARSCHNER, 1995). O manganês participa da síntese de clorofila II e assimilação de nitrato e ativa enzimas para biossíntese. Ainda, participa na formação da riboflavina, ácido ascórbico e caroteno (DUCIC; POOLLE, 2005).

2.3.1 O MANGANÊS TÓXICO NO SOLO

No Brasil o cultivo de aveia branca para produção de grãos está concentrado principalmente nos estados de Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, nestas regiões, a maior parte dos solos apresenta elevada acidez que associada a rochas como basalto, aumentam consideravelmente, a disponibilidade de manganês para as plantas.

Em solo com pH igual ou inferior a 5,0 e formado a partir de rochas com altas concentrações manganês, onde estão presentes plantas sensíveis, ocorre toxidez ocasionando sérios prejuízos no rendimento da cultura. Segundo Malavolta e

Kliemann (1985), quando o pH reduz em uma unidade a concentração de manganês pode aumentar cerca de cem vezes.

O manganês no solo assume as formas divalente (Mn^{2+}), trivalente (Mn^{3+}) e tetravalente (Mn^{4+}), porém a forma divalente é a única solúvel e disponível para as plantas (ANDRADE, 1976; TINKER, 1981; CARDOSO et al. 2003). A discrepância entre a necessidade e o teor de Mn encontrado nos tecidos vegetais indica que, ao contrário da maioria dos nutrientes, sua absorção é pouco regulada pela planta, o que pode levar ao acúmulo de Mn em níveis tóxicos (CLARKSON, 1998). A quantidade de Mn necessária para um bom suprimento às plantas está entre 20 e 30 mg.kg no tecido vegetal.

Na correção da acidez, o Mn^{2+} da solução passa para a forma de óxidos de Mn (com valência 3 ou 4 e pouco solúveis), os quais não são adsorvidos pelas plantas. Dificilmente o teor de Mn^{2+} nos solos corrigidos para pH 6,0 a 6,5 é totalmente neutralizado, de modo que o seu teor chegue a níveis de deficiência do mesmo. Além do mais, a correção da acidez é efetuada na camada arável (15 a 20 cm superficiais do solo) podendo as raízes das plantas obter Mn^{2+} nas camadas subjacentes, onde o teor é elevado (BISSANI, et al., 2004).

2.3.2 Os EFEITOS FITOTÓXICOS DO MANGANÊS

O sintoma de crestamento ocasionado pela toxidez por Mn^{2+} em trigo é observado pelo enrugamento das folhas, que inicia por uma clorose marginal das folhas novas, seguida de pontuações necróticas na superfície e necrose marginal; 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). Outra diferença apresentada pelo Mn^{2+} em relação ao Al^{3+} é a não interferência na absorção do P. As plantas translocam o Mn^{2+} absorvido pelas raízes para a parte aérea, onde se acumula em níveis tóxicos.

Na cultura da soja, os sintomas de toxidez por Mn^{2+} foram observados por Borkert (1973), em Latossolo vermelho no município de Santo Ângelo/RS, apresentando-se como manchas necróticas na superfície das folhas, e ocorrendo quando a concentração no tecido era maior que 500 mg.kg, o que corresponde a um teor de Mn^{2+} no solo igual a 205 mg.dm³. Em solos com teor de Mn^{2+} trocável

superior a 20 mg.dm³ há a possibilidade de redução de rendimentos, principalmente em leguminosas.

2.3.3 MECANISMOS DE TOLERÂNCIA AO MANGANÊS NAS PLANTAS

Os mecanismos de tolerância das plantas à toxicidade por Mn²⁺ são pouco conhecidos, existem evidências de que a tolerância está associada com a restrição da absorção e translocação de excesso Mn²⁺ para a parte aérea das plantas (TOURIA; DOUGLAS, 1998). As espécies vegetais diferem amplamente em sua tolerância ao excesso de Mn²⁺, o que resulta possivelmente, da habilidade das diferentes constituições genéticas em restringir a absorção e translocação de Mn²⁺ (FOY et al.,1995; HORST, 1999).

Quando os íons metais são levados para dentro das células, propriedades como reatividade elevada ou solubilidade limitada requerem que estes íons sejam quelatados (DUCIC e POOLLE, 2005). São denominados quelatos, compostos formados por íons metálicos seqüestrados por aminoácidos, peptídeos ou complexos polissacarídeos. Estes quelatos contribuem para desintoxicação, protegendo o citosol da concentração elevada do metal (CLEMENS, 2001). Em plantas os compostos que atuam como fitoquelatos são: metalotioneína, ácidos orgânicos, e aminoácidos.

Uma via para prevenir os efeitos tóxicos de metais pesados é o efluxo. Para facilitar o efluxo de manganês da célula, o metal é entregue ao complexo de Golgi e finalmente exportados para fora da célula através de vesículas que carregam o metal para a superfície da célula (DUCIC e POOLLE, 2005).

Outra forma de prevenir a toxicidade por metais é a compartimentalização. O principal compartimento que armazena componentes tóxicos nas plantas é o vacúolo (VÖGELI-LANGE e WAGNER, 1990 apud DUCIC e POOLLE, 2005). Vários transportadores podem mediar a entrada de metais pesados para compartimentalização no vacúolo, entre eles as ATPases. Segundo Ramsay e Gadd (1997), plantas que apresentavam mutações na ATPase do vacúolo evidenciaram sensibilidade ao Mn²⁺.

Foy et al., (1978) verificaram que o genótipo de arroz *Siam 29* era mais tolerante ao Mn²⁺ que o genótipo *Pebifun*, e esta tolerância superior era atribuível à absorção de reduzida de manganês.

Quanto à genética da tolerância ao Mn^{2+} , Foy et al. (1978), relataram que a manifestação do caráter em alface, era devido ao efeito aditivo de genes. Eninnk e Garresten (1977) estudaram as progênies derivadas de genótipos de alface sensíveis e tolerantes, e determinaram que diferentes genes nos pais foram responsáveis pela tolerância à toxidez por Mn^{2+} nos descendentes. Rilo e Lightfoot, (1996 apud WANG, et al., 2002) analisaram tolerância ao manganês em soja usando marcadores moleculares, e encontraram vinte marcadores moleculares associados com pelo menos uma característica de tolerância ao Mn^{2+} e que a tolerância ao Mn^{2+} da cultivar *Essex* foi controlada por 3 a 4 QTLs principais.

2.3.4 MÉTODOS DE SELEÇÃO PARA TOLERÂNCIA AO MANGANÊS

A caracterização e seleção de plantas tolerantes ao Mn^{2+} pode ser efetuada a campo; entretanto, a obtenção de genótipos tolerantes pode ser dificultada 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 eficiente técnica que permite a fácil identificação e a seleção de genótipos tolerantes (SILVA et al., 2004).

Avaliando em laboratório a tolerância à toxidez por Mn^{2+} em plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.), com o emprego do cultivo hidropônico, Camargo e Oliveira (1983) determinaram que o caráter crescimento de raiz foi o que melhor discriminou fenotipicamente cultivares de trigo quanto à tolerância ao Mn^{2+} .

Rout, Samantaray e Das (2001) estudando cultivares de feijão (*Vigna radiata* L.) e arroz (*Oriza sativa* L.), verificaram que os comprimentos de raiz e parte aérea reduziram com o aumento dos níveis de manganês em solução nutritiva, e que esta redução apresentava variabilidade entre as cultivares testadas, o que permitia sua caracterização em sensíveis e tolerantes. Além disso, MARTINS (2003) 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.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE AVEIA BRANCA QUANTO A RESPOSTA A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

O experimento foi conduzido no Laboratório de Duplo-Haplóides e Hidroponia do Centro de Genômica e Fitomelhoramento da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – Universidade Federal de Pelotas, segundo a técnica de cultivo hidropônico descrita por Camargo e Oliveira (1981) e adaptada por Dornelles et al. (1997). Foram avaliados dez genótipos de aveia branca visando verificar os níveis de tolerância à toxicidade pelo Al^{3+} . Os genótipos avaliados foram: ALBASSUL, UPF 15, UPF 16, UPF 18, UFRGS 14, UFRGS 15, UFRGS 17, UFRGS 19, URS 20 e URS 21, provenientes do Programa de Melhoramento Genético de Aveia do Centro de Genômica e Fitomelhoramento, FAEM/UFPel.

O delineamento experimental adotado foi o completamente casualizado com três repetições, sendo que cada repetição era composta por 15 plântulas de cada cultivar, e para a avaliação tolerância, foram empregadas três diferentes doses de Al^{3+} , 10, 15 e 20mg.L⁻¹.

Foi realizada a desinfecção das sementes com hipoclorito de sódio (1,5%) por cinco minutos e lavadas com água destilada. Após, foram colocadas em caixas (gerbox) contendo papel filtro embebido com água destilada (Fig. 1) e levadas à câmara BOD, com temperatura de 24° C e iluminação permanente por 48 horas para início da germinação (Fig. 2).

As sementes germinadas com aproximadamente 1cm de radícula (Fig. 3) foram transplantadas em tela plástica adaptada à tampa de um recipiente (balde) contendo de 5,5 litros de solução-base (ausência de Al^{3+}) composta pelos nutrientes: $Ca(NO_3)_2$

- 4 mM; MgSO_4 - 2 mM; KNO_3 - 4 mM; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - 0,435 mM; KH_2PO_4 - 0,5 mM; MnSO_4 - 2 μM ; CuSO_4 - 0,3 μM ; ZnSO_4 - 0,8 μM ; NaCl - 30 μM ; Fe-EDTA - 10 μM ; Na_2MoO_4 - 0,10 μM ; H_3BO_3 - 10 μM e água destilada. O pH foi ajustado para 4 ± 3 , com HCl 1N. As soluções tratamento foram compostas por um décimo da solução-base, exceto o fósforo (P) que era omitido, para evitar uma possível precipitação do Al^{3+} , e o Fe^{3+} foi adicionado em quantidade equivalente à solução-base, porém, na forma de FeCl_3 em vez de Fe-EDTA. Como fonte de alumínio, a fim de obter as concentrações de 10, 15 e 20 mg.L^{-1} , foi utilizado o composto molecular $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot (14 \text{ a } 18)\text{H}_2\text{O}$.

Os baldes contendo as plântulas foram levados a um tanque de metal para que ficassem em banho-maria a temperatura de aproximadamente $25^\circ \text{C} \pm 1$, iluminação permanente e ligados a um sistema de aeração para fornecer oxigênio às raízes.

Ao completar 48 horas em solução-base (Fig. 4), as tampas com as plântulas foram transferidas para solução tratamento (presença de Al^{3+}) nas concentrações de 10, 15 ou 20 mg.L^{-1} (Fig. 5), permanecendo por 48 horas e retornando as soluções-base por mais 72 horas.

Após este período foi efetuada a avaliação da tolerância ao Al^{3+} tóxico por meio da mensuração da retomada do crescimento da raiz (RCR) com o auxílio de uma régua, a partir do ponto de dano causado pela toxicidade do Al^{3+} na raiz principal (Fig. 6).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para verificar possível interação entre os fatores. Posteriormente, com a confirmação da interação, a análise prosseguiu de modo a fixar o fator dose, visando analisar as diferentes cultivares em cada concentração de alumínio aplicado em solução. Para comparação de médias foi empregado o teste de Tukey e também foram avaliadas e estimadas as equações de regressão que permitiram inferir sobre a manifestação biológica dos resultados apresentados. Na análise dos dados foi empregado o programa computacional SAS (2002).

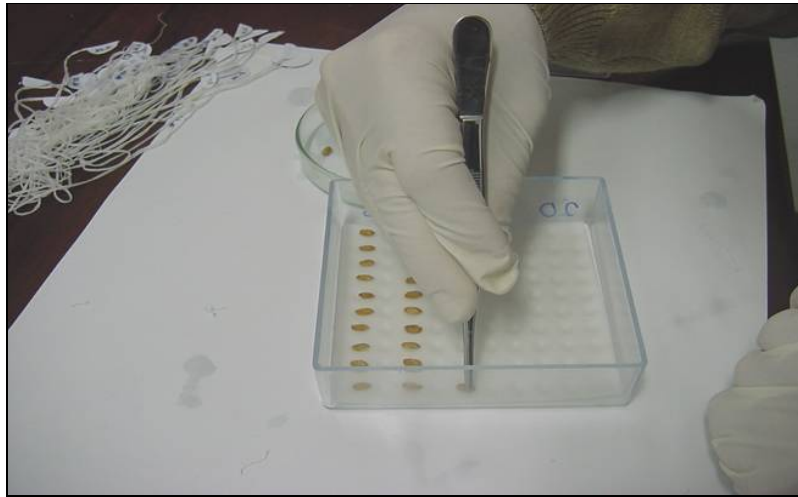


Figura 1 – Sementes de aveia branca colocadas em gerbox contendo papel filtro embebido com água destilada para germinação, FAEM/UFPEL, 2006.



Figura 2 – Germinação das sementes de aveia branca em câmara BOD. FAEM/UFPEL, 2006.

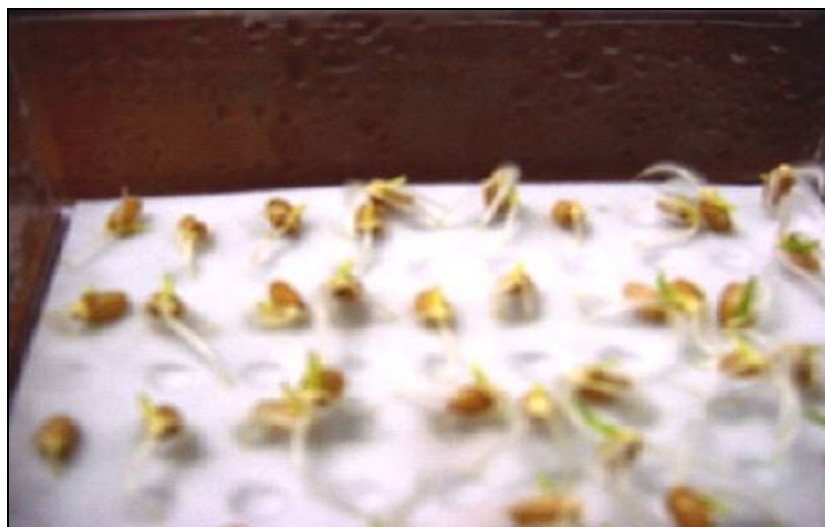


Figura 3 – Plântulas de aveia branca com aproximadamente 1 cm de radícula após 48 horas em BOD. FAEM/UFPEL, 2006



Figura 4 – Plântulas de aveia 24 horas após o transplante em tela plástica com suas raízes imersas em solução-base. FAEM/UFPel, 2006.

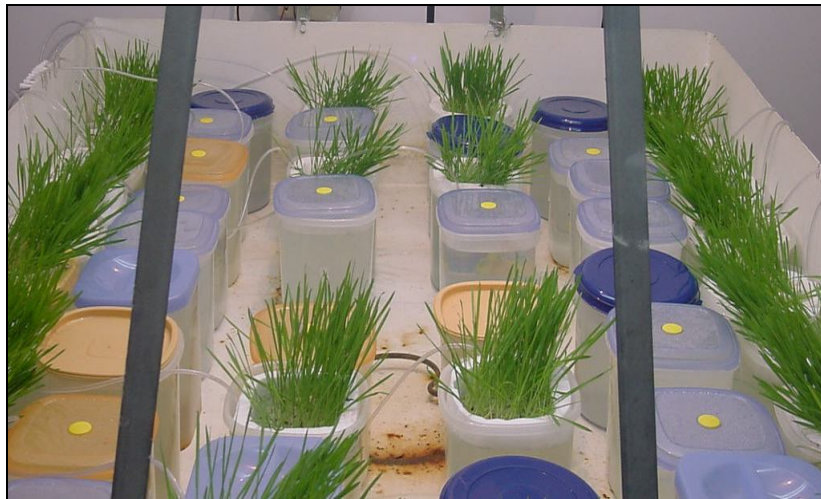


Figura 5 – Plântulas de aveia em solução-base após tratamento com Al^{3+} . FAEM/UFPel, 2006.

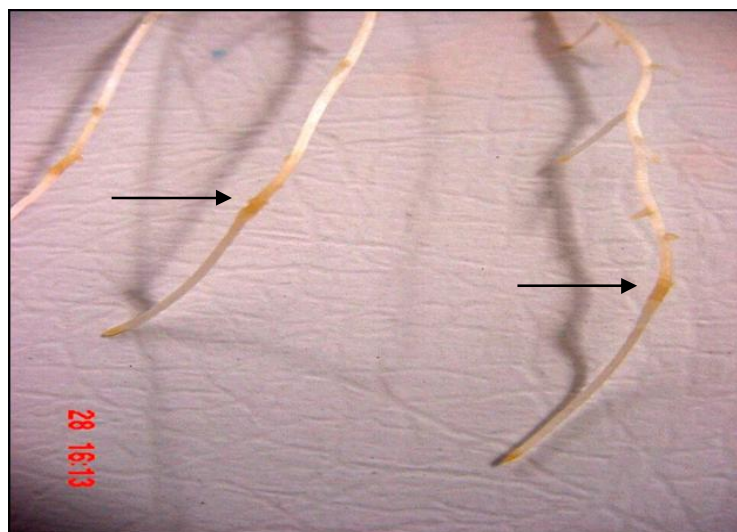


Figura 6 – Detalhe da retomada do crescimento de raiz a partir do ponto de dano (indicado pela seta) causado pelo Al^{3+} . FAEM/UFPel, 2006.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE AVEIA BRANCA QUANTO A RESPOSTA A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE MANGANÊS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

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). Foram avaliadas dez cultivares de aveia branca: ALBASSUL, UPF 15, UPF 16, UPF 18, UFRGS 14, UFRGS 15, UFRGS 17, UFRGS 19, URS 20 e URS 21.

O delineamento experimental foi completamente casualizado com três repetições, sendo cada repetição composta por quinze plântulas por genótipo. Foi realizada a desinfecção das sementes com hipoclorito de sódio (1,5%) por cinco minutos, posteriormente, lavadas com água destilada. Após, 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 visando obter plântulas com raízes uniformes.

As sementes germinadas com aproximadamente 1 cm de radícula foram transplantadas para uma tela plástica (cada tela contendo dez genótipos, que foi representado por quinze plântulas) adaptada à tampa de um recipiente (balde) contendo 5,5 litros de solução nutritiva. Os nutrientes empregados para formulação da solução nutritiva foram: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 4mM; MgSO_4 2mM; KNO_3 4mM; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,435mM; KH_2PO_4 0,5mM; MnSO_4 2mM; CuSO_4 0,3 μM ; ZnSO_4 0,8 μM ; NaCl 30 μM ; Fe-EDTA 10 μM ; NaMoSO_4 0,10 μM ; H_3BO_3 10 μM e sulfato de manganês ($\text{MnSO}_4\text{H}_2\text{O}$), de modo a obter as concentrações de 0,11, 400, 800 e 1600 mg.L^{-1} de Mn^{2+} e o pH foi ajustado para 4,8.

A determinação das doses empregadas no experimento foi estabelecida com base nas diferentes concentrações de Mn^{2+} que ocorrem naturalmente nos solos de acordo com suas rochas formadoras. Segundo Bohnen (1995), um solo formado por arenito pode apresentar apenas 10 mg.kg^{-1} de Mn^{2+} , enquanto em solos originados a partir do basalto a concentração de Mn^{2+} pode atingir 1500 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 (Fig. 7). Durante este período, foram realizadas

aferições diárias de pH. No décimo segundo dia, foi efetuada a mensuração do comprimento de raiz (CR) e comprimento da parte aérea (CPA) em centímetros (cm) (Fig. 8)

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 e Knott utilizando o programa estatístico Genes. Foram avaliadas e estimadas as equações de regressão, que permitiram inferir sobre a manifestação biológica dos resultados apresentados, utilizando o programa computacional SAS.



Figura 7. Plântulas de aveia em solução nutritiva adicionada de $1600 \text{ mg.L}^{-1} \text{ Mn}^{2+}$ após 12 dias de tratamento. FAEM/UFPeI, 2006.



Figura 8. Avaliação dos comprimentos de raiz e parte aérea das plântulas, após 12 dias de tratamento. FAEM/ UFPeI, 2006.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE AVEIA BRANCA QUANTO A RESPOSTA A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

Os resultados obtidos pela análise de variância (Tab. 1) permitem verificar diferenças significativas a 1% de probabilidade de erro pelo teste F. Além disso, foi evidenciada interação dose x genótipo, o que implicou na necessidade de desdobramento desta interação. Após fixado o fator dose, a análise de variância permitiu demonstrar que pelo menos uma entre as demais cultivares diferem entre si, para cada nível de Al^{3+} utilizado no experimento.

Contudo, é possível identificar que o modelo utilizado para o delineamento completamente casualizado ($Y_{ij}=m+ti+e_{ij}$) evidenciou elevado coeficiente de determinação tanto na análise geral ($R^2=0,96$) quanto na avaliação dentro de cada dose do elemento ($R^2 = 0,86; 0,84; 0,94$; para 10, 15 e 20 $mg.L^{-1}$ de Al^{3+} , respectivamente); o que confirma que a variação total do experimento em (y) é fortemente explicada pela variação da variável independente (x).

Na análise de médias (Tab. 2), foi constatado que na concentração de $10mg.L^{-1}$, todas as cultivares apresentaram a mesma classe (a), com exceção da cultivar ALBASSUL, que apresentou média de retomada do crescimento de raiz fortemente reduzida nesta concentração de Al^{3+} , indicando grande sensibilidade. Na dose de 15 $mg.L^{-1}$ de Al^{3+} as cultivares URS 20 e URS 21 evidenciaram mesma classe (a), demonstrando grande tolerância nesta concentração, com valores médios de 13,66 e 10mm de RCR, respectivamente.

Entretanto, os genótipos, UPF 18, UPF 16, UPF 15, UFRGS 19, UFRGS 17, UFRGS 14 e UFRGS 15, não diferiram entre si, representando a classe (b). Todavia, grande sensibilidade novamente foi constatada pela cultivar ALBASSUL, representada pela classe (c) com valor médio de RCR de 3,66mm.

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta para o caráter retomada do crescimento de raiz das dez cultivares de aveia estudadas nas diferentes concentrações de alumínio na solução e de forma individual fixando o fator dose, FAEM/UFPel, 2006

Fonte de Variação	GL	QM _{RCR} (mm)	Média Geral	R ² (%)
Modelo	29	77,272*	10,034	0,96
Dose	2	782,321*	-	-
Genótipo	9	56,755*	-	-
Dose x Genótipo	18	15,569*	-	-
Erro	60	1,54	-	-
Total	89	-	-	-
CV (%) 12,37				
Fixando o Fator		QM _{RCR} 10 mg. L ⁻¹	QM _{RCR} 15 mg. L ⁻¹	QM _{RCR} 20 mg. L ⁻¹
Genótipo	9	34,041*	17,79*	23,305*
Erro	20	2,503	1,523	0,5953
Total	29	-	-	-
Média (cm)	-	15,63	8,83	5,64
CV (%)	-	10,12	13,98	13,68
R² (%)	-	0,86	0,84	0,94

*Valores significados a 1% de probabilidade de erro. QM = Quadrado médio para o caráter RCR, CV = coeficiente de variação e R² = coeficiente de determinação.

Tabela 2. Análise de médias pelo teste de Tukey para o caráter retomada do crescimento de raiz (mm) das 10 cultivares de aveia submetidas a três concentrações de Al³⁺ (mg.L⁻¹), incluindo o percentual de redução (Red %). FAEM/UFPel, 2006.

Genótipos	10 mg.L ⁻¹	Red (%) (10 – 15)	15 mg.L ⁻¹	Red (%) (15 – 20)	20 mg.L ⁻¹	Red (%) (10 – 20)
URS 21	A 18,00 a	44,44	B 10,0 a	43,4	C 5,68 cd	68,55
URS 20	A 17,33 a	21,17	AB 13,7 a	17,05	B 11,3 a	34,62
UPF 18	A 18,00 a	53,6	B 8,40 b	60,35	C 3,33 ef	81,5
UPF 16	A 16,33 a	44,88	B 9,00 b	37,11	C 5,66 cd	65,33
UPF 15	A 16,00 a	45,87	B 8,66 b	50	C 4,33 ed	72,93
UFRGS 19	A 16,00 a	47,75	B 8,36 b	42,22	B 4,83 ed	69,81
UFRGS 17	A 16,03 a	48,47	B 7,83 b	5,20	B 8,26 cb	51,15
UFRGS 15	A 16,00 a	41,68	B 9,33 b	64,30	C 3,33 ef	79,18
UFRGS 14	A 16,33 a	42,86	B 9,33 b	17,89	B 7,66 cb	53,09
ALBASSUL	A 6,330 b	42,18	B 3,66 c	46,44	C 1,96 f	69,03

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem a 5% de probabilidade de erro.
Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem a 5% de probabilidade de erro.

Analisando as dez cultivares na concentração mais elevada de Al^{3+} na solução, é facilmente observado um aumento no número de classes, o que demonstra ser a dose mais adequada para discriminar fenotipicamente constituições genéticas de aveia branca quanto a tolerância e sensibilidade ao elemento químico, corroborando com os resultados encontrados por Sánchez-Chácon et al., (2000), onde a concentração de 20 mg.L^{-1} foi a que estabeleceu o maior número de classes e melhor caracterizou o germoplasma de aveia branca da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Para tanto, podemos destacar a cultivar URS 20 que apresentou o maior valor de RCR ($11,33\text{mm}$), representando a classe (a), seguida do genótipo UFRGS 17, UFRGS 14, UPF 16 e URS 21, com $8,26$; $7,66$; $5,66$ e $5,68$ mm de RCR, respectivamente. Além disso, é possível perceber que novamente o genótipo ALBASSUL apresentou menor RCR juntamente com a cultivar UPF 18 e UFRGS 15, demonstrando a possível limitação destas constituições genéticas quando cultivadas em solos com elevada concentração de Al^{3+} .

Ainda na tab. 2, analisando o comportamento de cada cultivar frente às três concentrações (letras maiúsculas na linha) é possível perceber que o genótipo URS 20, não diferiu com o aumento da concentração de 10 para 15 mg.L^{-1} de Al^{3+} , demonstrando um percentual de redução de apenas $21,17\%$ ao contrário dos demais que demonstraram percentual de redução superior a 40% .

Para as cultivares UFRGS 19, UFRGS 17 e UFRGS 14, o incremento nas concentrações de alumínio de 15 para 20mg.L^{-1} , não interferiu na RCR, indicando possivelmente, a grande tolerância destas constituições genéticas, o que pode ser confirmado pelos menores valores de percentual de redução, $5,20\%$ para UFRGS 17 e $17,89\%$ para UFRGS 14, respectivamente, ao contrário do genótipo UFRGS 19 ($42,22\%$ de redução).

De modo geral, analisando o percentual de redução de 10 para 20 mg.L^{-1} de Al^{3+} na solução, é facilmente percebido o grande destaque conferido à cultivar URS 20 ($34,62\%$), seguido da UFRGS 17 ($51,15\%$) e UFRGS 14 ($53,09\%$), quanto à tolerância a este elemento químico, ao contrário da UPF 18 que evidenciou $81,5\%$ de redução e conseqüentemente demonstrando maior sensibilidade.

Os níveis de tolerância das cultivares URS 20, UFRGS 17 e UFRGS 14 são comprovados através da análise de médias para cada genótipo comparando as três concentrações (Tab. 2), visto que todas as cultivares acima citadas permaneceram

na mesma classe (B) ao aumentar a concentração de 15 para 20 mg.L⁻¹ de Al³⁺ na solução, enquanto as demais apresentaram classe (B) e (C).

Para demonstrar o efeito das doses de alumínio sobre a variável retomada do crescimento de raiz e inferir sobre a manifestação biológica dos referidos resultados, foi realizada análise de regressão para a variável dependente RCR para os testes de significância dos componentes linear e quadrático atribuível à dose de Al³⁺ em solução nutritiva para cada cultivar estudada (Tab. 3 e Fig. 9). Nesse sentido, como o teste F evidenciou interação entre genótipo e dose, há a necessidade de ajustar equações distintas para cada genótipos estudado.

As cultivares UFRGS 15, UFRGS 19, UPF 15, UPF 16, UPF 18 e URS 21 evidenciaram equação do tipo linear para o caráter RCR com o aumento na concentração de Al³⁺, além disso, apresentaram coeficientes de regressão (b_1) significativos e de sinal negativo, de -1,67; -3,58; -2,97; -3,47; -4,18 e -3,40, respectivamente, o que permite facilmente concluir que com o aumento na concentração de Al³⁺ ocorre redução no caráter em estudo, até a paralisação total do crescimento (Fig. 9 i, e, c, d, a, f,). Como por exemplo, a cultivar UPF 18, que para cada 1 mg.L⁻¹ de alumínio adicionado na solução, tende a reduzir 4,18mm de RCR, indicando ser um genótipo de elevada sensibilidade, ao passo que a cultivar UFRGS 15, a cada 1mg.L⁻¹ de alumínio adicionado na solução, o RCR tende a reduzir 1,67mm, demonstrando maior tolerância.

Entretanto, analisando as médias apresentadas pelos referidos genótipos (Tab. 2) fica evidenciada a elevada sensibilidade quanto ao caráter em estudo, principalmente quando analisada na concentração de 20 mg.L⁻¹ que permitiu diferenciar de forma mais precisa as constituições genéticas estudadas.

A necessidade de utilizar análise de regressão para obter melhor entendimento do efeito das concentrações de Al³⁺ nos diferentes genótipos tem por base o comportamento da cultivar UFRGS 19, que na análise de médias não apresentou diferença quando a concentração de Al³⁺ intensificou de 15 para 20mg.L⁻¹ mantendo a mesma classe, porém esta constituição genética apresentou b_1 significativo para equação linear, o que indica a existência de diferenças, que estão relacionadas aos efeitos das concentrações de Al³⁺ no genótipo (Tab. 3).

As cultivares ALBASSUL e URS 20 não revelaram significância para (b_1), logo, a redução da retomada do crescimento de raiz com o aumento da concentração de alumínio aplicada na solução não foi significativa (Fig. 9. j, b).

Tabela 3. Resumo da análise de variância da regressão para a variável retomada do crescimento de raiz em cultivares de aveia para os testes de significância dos componentes linear quadrático da variação atribuível ao efeito de doses Al³⁺ em solução nutritiva, FAEM/UFPEl, 2006.

Genótipo	Fonte de Variação	GL	QM _{RCR}	R ²	Estimativa	Valor t	Pr> t
ALBASSUL	Linear	1	28,60 ^{ns}	0,93	-1,01	-2,03	0,08
	Quadrático	1	0,467 ^{ns}	-	0,02	1,16	0,28
	Erro	6	0,346	-	-	-	-
UFRGS 14	Linear	1	112,67	0,95	-4,07	-4,77	0,003
	Quadrático	1	14,22*	-	0,11	3,77	0,009
	Erro	6	1	-	-	-	-
UFRGS 15	Linear	1	240,66*	0,98	-1,67	-2,62	0,039
	Quadrático	1	0,22	-	0,01	0,63	0,55
	Erro	6	0,55	-	-	-	-
UFRGS 17	Linear	1	90,48	0,97	-5,95	-9,28	<,0001
	Quadrático	1	37,27*	-	0,17	8,11	0,0002
	Erro	6	0,57	-	-	-	-
UFRGS 19	Linear	1	187,04*	0,93	-3,58	-2,81	0,030
	Quadrático	1	8,40	-	0,08	1,94	0,1
	Erro	6	2,22	-	-	-	-
URS 20	Linear	1	54,00 ^{ns}	0,70	-1,40	-0,73	0,49
	Quadrático	1	0,89 ^{ns}	-	0,03	0,42	0,68
	Erro	6	5	-	-	-	-
UPF 15	Linear	1	204,17*	0,97	-2,97	-3,69	0,01
	Quadrático	1	4,5	-	0,06	2,25	0,06
	Erro	6	0,89	-	-	-	-
UPF 16	Linear	1	170,67*	0,95	-3,47	-3,69	<,0001
	Quadrático	1	8	-	0,08	2,25	0,063
	Erro	6	1,55	-	-	-	-
UPF 18	Linear	1	322,66*	0,97	-4,18	-4,03	0,007
	Quadrático	1	10,27	-	0,09	2,63	0,07
	Erro	6	1,48	-	-	-	-
URS 21	Linear	1	228,17*	0,95	-3,40	-3,02	0,023
	Quadrático	1	6,72	-	0,07	1,94	0,09
	Erro	6	1,78	-	-	-	-

*Valores significativos a 5% de probabilidade de erro

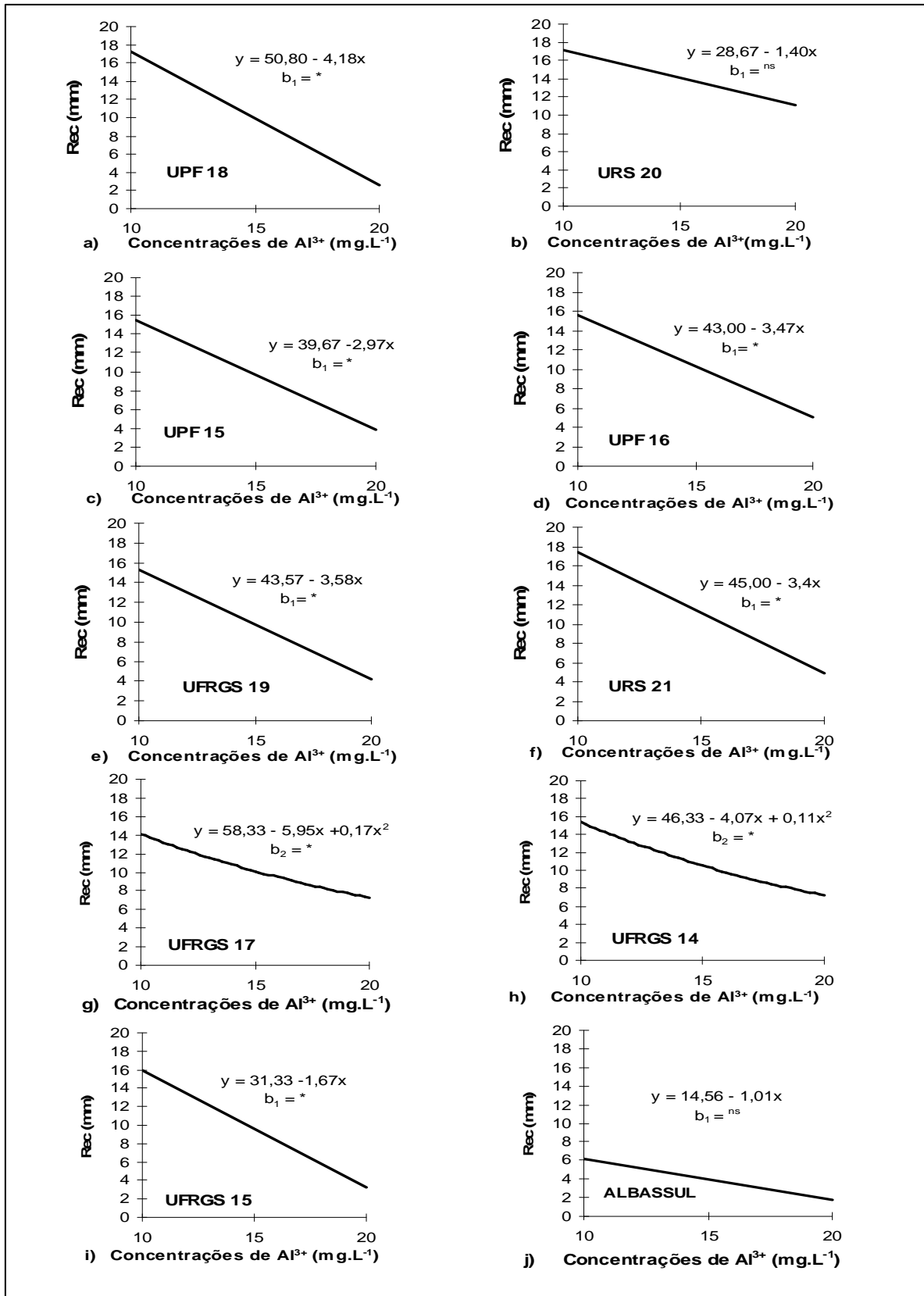


Figura 9. Regressões para o caráter retomada do crescimento de raiz para as dez cultivares de aveia branca estudadas, nas três concentrações distintas de Al^{3+} na solução. FAEM/UFPel, 2006.

As cultivares UFRGS 14 e UFRGS 17 evidenciaram equação de regressão do tipo quadrática ($y=a+bx+cx^2$) apresentando coeficientes (b_2), de 0,11 e 0,14 respectivamente. Considerando o modelo matemático ($-b/2c$) será possível determinar a concentração máxima de Al^{3+} que o genótipo pode tolerar, UFRGS 14 apresentou equação $y=46,33-4,07x+0,11x^2$ (Fig. 9 h), podendo tolerar uma concentração de $18,5mg.L^{-1}$ de Al^{3+} , ou seja, acima desta concentração, a retomada do crescimento de raiz tende a ser paralisada. Para a cultivar UFRGS 17 (Fig. 9. g) a equação $y=58,33-5,95x+0,17x^2$ indica que $16,55 mg.L^{-1}$ é o ponto que a partir do qual não ocorre a retomada do crescimento de raiz. Estas constituições genéticas juntamente com URS 20 apresentaram elevada tolerância dentre as constituições genéticas estudadas e podem ser recomendadas para cruzamentos em programas de melhoramento genético, bem como serem cultivadas em regiões que apresentam solos ácidos e com elevada disponibilidade de alumínio tóxico.

Um aspecto interessante a ser discutido é o fato de que as cultivares URS 20, UFRGS 14 e UFRGS 17 foram selecionadas em solos sem a presença de alumínio em níveis elevados evidenciaram maior tolerância que os genótipos UPF 15, UPF 16 e UPF 18 criados em ambientes com alta concentração do íon metal. Isto provavelmente tenha por base a presença dos genes de tolerância que foram transferidos dos genitores às cultivares URS 20, UFRGS 14 e UFRGS 17. Portanto, a reduzida tolerância dos genótipos anteriormente citados, tenha possível relação com as fortes correções de acidez em áreas experimentais, principalmente quando destinadas à condução de populações em seleção, não permitindo visualizar com distinção o estresse causado pelos efeitos tóxicos do alumínio.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES DE AVEIA BRANCA QUANTO A RESPOSTA A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE MANGANÊS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA.

Os resultados apresentados na análise de variância da tab. 4 (geral), evidenciam que no fator dose existe pelo menos uma concentração de Mn^{2+} que difere entre as demais para o CR e CPA, o mesmo acontecendo para o fator genótipo, indicando que ao menos um genótipo difere dos outros considerando os dois caracteres analisados. 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, conforme apresentado na tab. 4 (Fixo).

É possível perceber que em cada concentração do Mn^{2+} tanto para o caráter CR quanto para o CPA pelo menos um entre os demais genótipos diferiram entre si, o que nos leva a hipótese de existência de variabilidade genética nos dois caracteres testados, indicadores de tolerância e sensibilidade ao manganês.

Aspectos também relevantes na tab. 4 (fixo), é quanto aos valores médios apresentados para cada caráter nas diferentes concentrações de 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.

A variabilidade entre as cultivares para os caracteres CR e CPA foi constatada ainda em solução nutritiva padrão com $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$ de Mn^{2+} (Tab. 5), o que demonstra que as cultivares testadas apresentam diferenças genéticas intrínsecas e comportamento distinto frente as concentrações do elemento .

Tanto na concentração de $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$ quanto de 400 mg.L^{-1} os resultados foram muito similares, exceto UFRGS 14 no CR e URS 21 e URS 20 no CPA passaram a evidenciar maior sensibilidade nessa concentração.

Contudo, foi verificado que a dose de 400 mg.L^{-1} não permitiu uma discriminação efetiva entre genótipos sensíveis e tolerantes quando comparado com a dose padrão (Tab. 5).

Tabela 4. Resumo da análise de variância de forma geral e fixa 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	GL	QM (cm)			
		CR		CPA	
Modelo	39	12,681*		40,752*	
Dose	3	116,370*		256,377*	
Genótipo	9	12,700*		51,609*	
Dose x Genótipo	27	1,154*		13,174*	
Erro	80	0,390		1,392	
Total	119	-		-	
CV (%)	-	10,384		7,169	
R ²	-	0,940		0,934	

Fonte de Variação Fixa	QM CR				QM CPA			
	0,11 [⊖]	400 [⊖]	800 [⊖]	1600 [⊖]	0,11 [⊖]	400 [⊖]	800 [⊖]	1600 [⊖]
Genótipo	5,04*	4,11*	3,98*	3,02*	46,03*	9,67*	15,9*	19,58*
Erro	0,602	0,312	0,477	0,167	1,982	0,982	0,928	1,674
Média (cm)	8,097	6,729	5,817	3,417	19,565	17,65	15,93	12,678
CV(%)	9,588	8,312	11,87 7	11,98 8	7,196	5,616	6,048	10,206
R ²	0,789	0,855	0,789	0,890	0,912	0,814	0,885	0,840

[⊖] 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 R² = coeficiente de determinação.

Tabela 5. Análise de médias pelo teste de Scott e Knott para os caracteres comprimento da parte aérea e comprimento de raiz para as 10 cultivares de aveia submetidas a quatro concentrações de Mn^{2+} , e o percentual de redução com o aumento das concentrações. FAEM/UFPel, 2006.

Comprimento de Raiz (cm)				
Genótipos	0,11 mg.L⁻¹	400 mg.L⁻¹	800 mg.L⁻¹	1600 mg.L⁻¹
URS 21	A 6,83 c	B 5,80 c	B 4,89 d	C 2,61 c
URS 20	A 8,29 b	A 7,17 b	A 6,43 b	B 4,80 a
UPF 18	A 8,30 b	B 7,77 b	C 5,87 c	D 3,15 c
UPF 16	A 6,83 c	B 5,47 c	B 5,07 d	C 2,75 c
UPF 15	A 7,33 c	B 5,86 c	B 4,69 d	C 3,04 c
UFRGS 19	A 8,03 b	B 6,94 b	B 6,02 c	C 3,87 b
UFRGS 17	A 9,33 b	A 7,83 b	A 6,97 b	B 4,80 a
UFRGS 15	A 10,5 a	B 8,83 a	B 8,18 a	C 4,08 b
UFRGS 14	A 9,06 b	B 6,33 c	B 5,63 c	C 1,61 d
ALBASSUL	A 6,42 c	B 5,30 c	B 4,43 d	C 3,45 c
Comprimento da parte aérea (cm)				
URS 21	A 22,23 a	B 17,64 b	C 14,01 c	C 12,83 b
URS 20	A 21,25 a	B 17,92 b	C 15,41 c	C 13,17 b
UPF 18	A 21,23 a	B 18,51 a	C 16,63 b	C 15,00 a
UPF 16	A 18,33 b	A 17,69 b	B 12,42 d	C 10,50 b
UPF 15	A 23,33 a	B 19,32 a	B 19,23 a	B 16,67 a
UFRGS 19	A 19,30 b	B 16,33 b	B 14,87 c	C 11,58 b
UFRGS 17	A 19,73 b	A 17,79 b	B 16,17 b	B 14,79 a
UFRGS 15	A 19,64 b	A 17,08 b	B 14,17 c	B 12,27 b
UFRGS 14	A 23,00 a	A 20,04 a	A 19,10 a	B 10,57 b
ALBASSUL	A 15,43 c	B 13,53 c	B 12,07 d	C 7,500 c

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

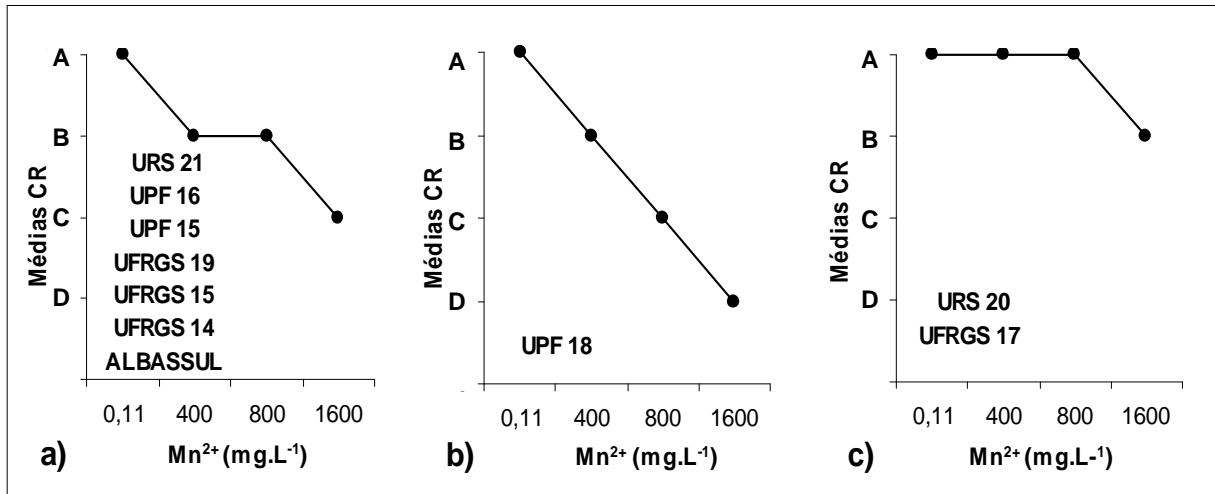


Figura 10. Representação gráfica da variação no comprimento e raiz nas concentrações de manganês, segundo a análise de médias pelo teste de Scott e Knott. As cultivares que se encontram agrupadas no nos gráficos apresentaram o mesmo comportamento. FAEM, UFPel, 2006.

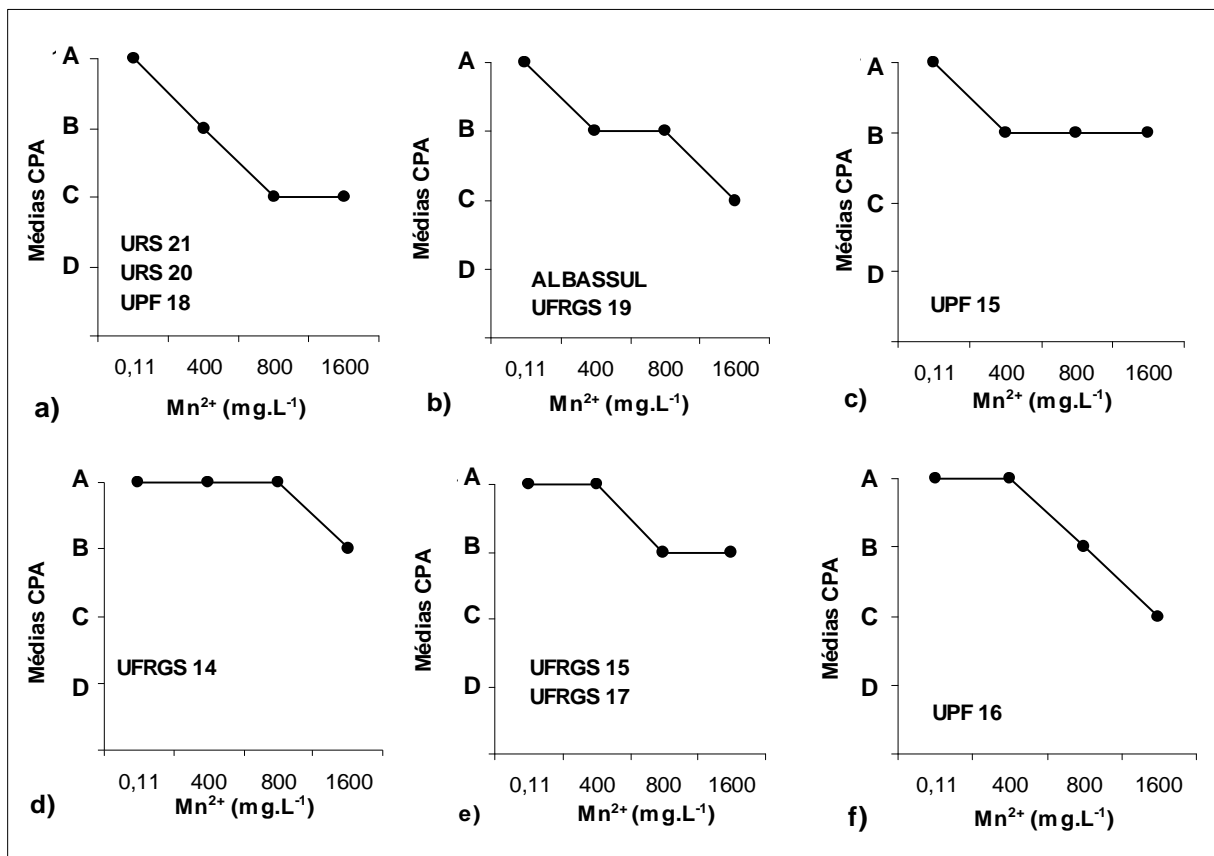


Figura 11. Representação gráfica da variação no comprimento da parte aérea com o aumento das concentrações de manganês, segundo a análise de médias pelo teste de Scott e Knott. As cultivares que se encontram agrupadas no nos gráficos apresentaram o mesmo comportamento. FAEM, UFPel, 2006.

Por outro lado, na dose de 800 mg.L⁻¹ 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⁻¹) no caráter CR. Já para o CPA o grande desempenho foi conferido às cultivares UFRGS 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.

Contudo, com 1600 mg.L⁻¹ na solução os genótipo UFRGS 17 e URS 20 evidenciaram o melhor desempenho no comprimento de raiz, indicando serem genótipos de elevada tolerância, enquanto URS 21, UPF 16, UPF 15, UFRGS 19, UFRGS 15, UFRGS 14 e ALBASSUL revelaram tolerância intermediária, e UPF 18 demonstrou elevada sensibilidade evidenciando uma redução de forma linear (Fig. 10 a, b, c).

Testando as diferenças existentes entre as distintas concentrações na análise de médias (Tab. 5, letras maiúsculas na linha), 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 (Fig. 10. a, b, c).

No caráter CPA foi observada grande variabilidade entre as cultivares testadas (Fig. 11), entretanto esta variabilidade não pode ser considerada como fator determinante de tolerância ou sensibilidade ao Mn²⁺ em solução nutritiva, pois no experimento realizado, as plântulas permaneceram por doze dias em solução, logo, os efeitos da toxidez por Mn²⁺ 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).

De modo geral conforme análise da tab. 5 é perceptível 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 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.

Marsh e Peterson (1990), estudando cultivares de batata, e Foy, Weil e Coradetti (1995) 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, segundo Edreva e Apostolova (1989) e Samantaray, Rout e Das (1997) o declínio no desenvolvimento da raiz em concentrações elevadas de manganês pode ser principalmente devido à redução de proteína na raiz pelo íon metálico (Mn^{2+}).

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.

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 (Fig. 12 e Fig. 13).

Para a variável CR (Fig. 12), 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 facilmente inferir que com o aumento da concentração do elemento químico ocorre redução no referido caráter. Nas cultivares citadas anteriormente, para cada 1 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. Nesse sentido, considerando um solo de origem basáltica que apresenta, por exemplo, uma concentração média de 1500 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).

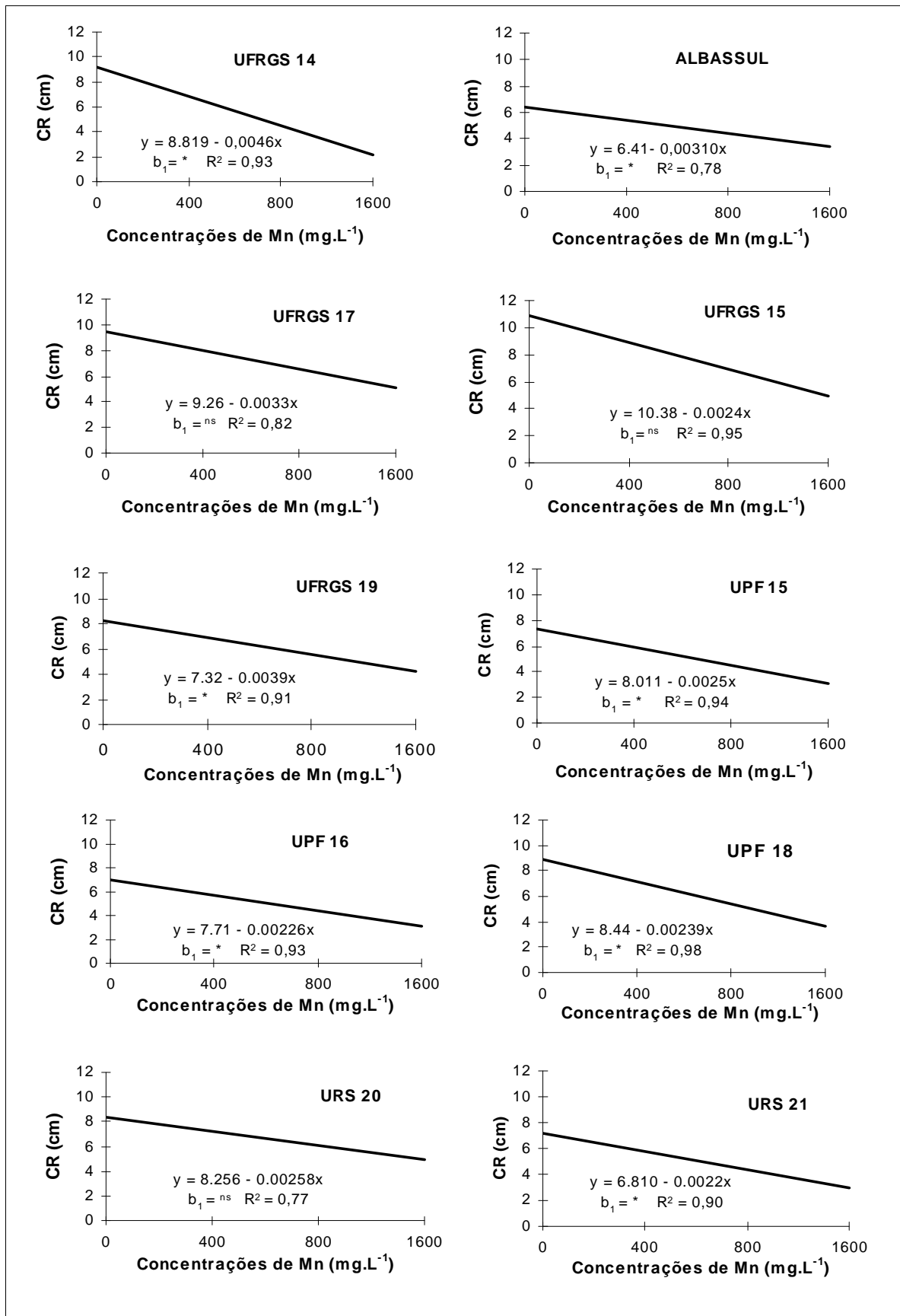


Figura 12. Regressões para o caráter comprimento de raiz (CR) em aveia branca, com o aumento da concentração de Mn²⁺ na solução. FAEM/UFPeI, 2006.

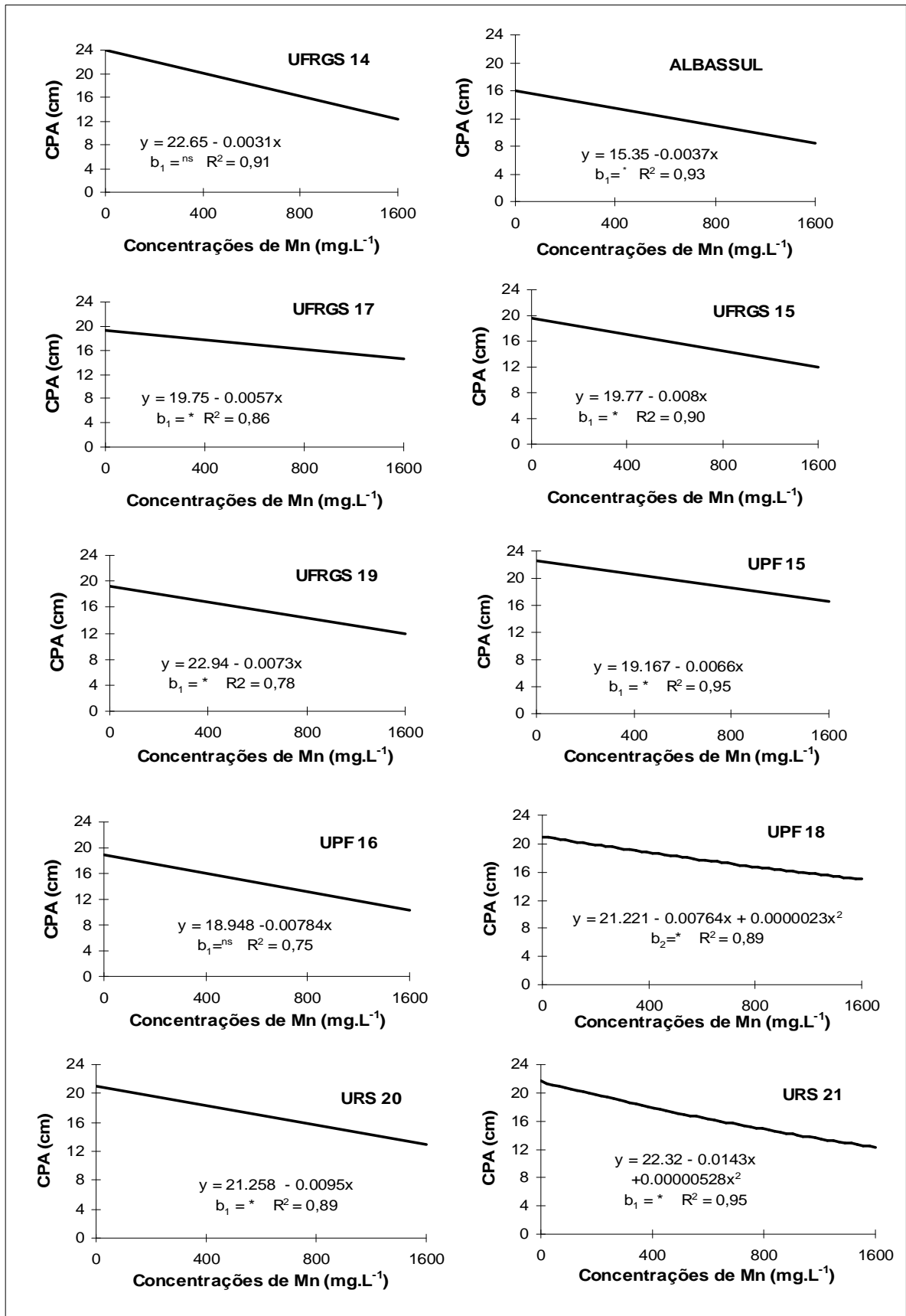


Figura 13. Regressões para o caráter comprimento de parte aérea (CPA) em aveia branca com o aumento da concentração de Mn²⁺ na solução. FAEM/UFPeI, 2006

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 (Fig. 12). Esta ausência de significância, possivelmente esteja relacionada ao fato destes genótipos apresentarem elevada tolerância ao Mn^{2+} por não apresentarem decréscimo significativo no comprimento de suas raízes.

No caráter CPA (Fig. 13) 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 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 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 (Fig. 13), o que tende a evidenciar a tolerância dos referidos genótipos.

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 $CPA=22,320-0,0143x+0,000053x^2$. 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 1660 mg.L^{-1} e URS 21 1354 mg.L^{-1} .

Contudo, considerando o desempenho dos genótipos quanto ao caráter CR nas concentrações de Mn^{2+} , as análises de médias e regressão indicaram que os genótipos UFRGS 17, URS 20 e UPF 16 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 análise de médias e regressão devem ser simultaneamente interpretadas para redução de erros no processo de seleção para tolerância ao Mn^{2+} em hidroponia.

5 CONCLUSÕES

5.1 A concentração de 20 mg.L^{-1} de Al^{3+} em solução nutritiva, permite selecionar de modo preciso as diferentes constituições genéticas de aveia branca quanto à tolerância e sensibilidade ao elemento químico.

5.2 As concentrações de 800 e 1600 mg.L^{-1} de Mn^{2+} em solução nutritiva e o caráter comprimento de raiz permitem discriminar fenotipicamente cultivares de aveia em sensíveis e tolerantes, quando avaliados em hidroponia.

5.3 As cultivares UFRGS 17, URS 20, UFRGS 14 e evidenciam elevada tolerância ao alumínio, e as cultivares UFRGS 17, URS 20 e UPF 16, ao Mn^{2+} e podendo serem recomendadas para cultivo em solos ácidos com elevadas concentrações destes elementos químicos, ou utilizadas em blocos de cruzamentos para transferência do caráter nos programas de melhoramento genético de aveia.

5.4 As análises de médias e regressão utilizadas simultaneamente, auxiliam de forma direta o processo de seleção de genótipos de aveia quanto ao nível de tolerância ao alumínio e manganês em solução nutritiva.

6 REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. W. **Fibra, doença cardiovascular e diabetes**. Dieta e Saúde. Rio de Janeiro, v.2, n.2, p4-5, 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**. Porto Alegre, 1976 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Fitotecnia) – UFRGS, Porto Alegre, 1976.
- ARNON, D.I. Criteria of essentiality of inorganic micronutrients for plants with special reference to molybdenum. In: WALLACE, T. **Trace elements in plant physiology**. Waltham: Chronica Botanica, p.9-31, 1950.
- BAIER, A. C.; SOMERS, D. J.; GUSTAFSON, J. P.; **Aluminium tolerance in wheat hydroponic evaluations with field and soil performances**. Plant Breeding, v.114, p.291-296, 1995.
- BARBOSA NETO, J. F.; MATIELLO, R. R.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, J. M. S.; PEGORARO, D. G.; SCHNEIDER, F.; SOLDI, M. E. B.; VACARO, E. **Progresso genético no melhoramento da aveia-branca no sul do Brasil**. Pesq. Agropec. Bras. v. 35, n.8, p.1605-1612, 2000.
- BECKMANN, I. **Sobre o cultivo e melhoramento do trigo (*Triticum vulgare* Vill) no sul do Brasil**. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, v.1, n.1/4, p. 64–72, 1954.
- BISSANI, C. A., GIANELLO, C., TEDESCO, M. J., CAMARGO, F. A. O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre. Genesis 2004
- BOERGER, A. **Investigaciones Agronômicas**. Montevideo. A. Bamiro & Ramos, S. A. v.3 1943.
- BOHNEN, H. Micronutrientes. In: GIANELLO, C. et al. **Princípios de Fertilidade do Solo**. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, p.149-168, 1995.
- BORKERT, C. **Efeito do Calcário e do cloreto de potássio sobre as concentrações de manganês e alumínio em oxissolos Santo Ângelo e Passo Fundo e suas relações com a nodulação e rendimento de duas cultivares de soja**. Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. UFRGS, Porto Alegre, 97p.1973.

CAMARGO, DE O. C. E.; OLIVEIRA, O. F. **Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo.** *Bragantia*, Campinas, v. 40, n.1, p.21 –23, 1981.

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

CAMARGO E. O.; FERREIRA A. W. P. **Tolerância em cultivares de trigo a diferentes níveis de manganês em solução nutritiva.** *Pesq. Agropec. Bras.* Brasília, v.27. n.3 p.417-422, 1992.

CANÇADO, G. M. A.; LOPES, M. A.; PAIVA, E.; **Inter- Relação fertilidade, biologia dos solos e nutrição de plantas.** 1ª Ed. UFLA, SBCS, 388p. 1999.

CARDOSO, E. J. B. N. et al. **Absorção e translocação de manganês por plantas de soja micorrizadas, sob doses crescentes deste nutriente.** *R. Bras. Ci. Solo*, v.27 p.415-423, 2003.

CARVALHO, F. I. F.; BARBOSA, J. F.; FLOSS, E.; FERREIRA FILHO, A. W. P.; FRANCO, F. A.; FEDERIZZI, L.C. e NODARI, R. O.; **Potencial genético de aveia como produtora de grãos no Sul do Brasil.** *Pesq. Agrop. Bras*, v.22, n.1, p.71-82, 1987.

CARVALHO, F. I. F.; FEDERIZZI, L. C.; **Evolução da cultura da aveia no Rio Grande do Sul.** In: **Trigo e Soja.** FECOTRIGO, p.16-19, 1989.

CLARKSON, D.T. The uptake and translocation of manganese by plant roots. In: GRAHAM, R.D.; HANNAM, R.J. & UREN, N.C., eds. **Manganese in soils and plants.** Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p.101-111, 1988.

CLEMENS, S.; **Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis.** *Planta*. v. 212. p.475-486. 2001.

COFFMAN, F. A **Oats and oats improvement.** *Madison.* Ed. American Society of Agronomy, p. 650, 1961.

COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA; **Indicações técnicas para cultura da aveia**. Passo Fundo: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária/UPF, 2003.

DELHAIZE, E., RYAN, P.R., RANDALL, P.J. **Aluminum tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). II. Aluminumstimulated excretion of malic acid from root apices**. Plant Physiology, Minneapolis, v.103, p.695-702, 1993.

DORNELLES, A.L.C.; CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C.; SERENO, M.J.C.; AMARAL, A.; 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.

DUCIC, T. & POLLE, A. **Transport and detoxification of manganese and cooper in plants**. Braz. J. Plant Physiol., v.17 n.1, p.103-112, 2005.

ECHART, C. L. & CAVALLI-MOLINA, S. **Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismos de tolerância e seu controle genético**. Revista Ciência Rural, Santa Maria-RS, v.31,n.3, p.531-541, 2001.

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

EENINK A. H.; GARRESTEN G.; **Inheritance of insensitivity of lettuce to surplus of exchangeable manganese in steam sterilized soils**. Euphytica v. 26, p. 47–53. 1977.

ESWARAN, H.; REICH P.; BEIGROTH, F.; **Plant soil interactions at low pH**. Brazilian Soil Science Society, p.159 -164. 1997.

FAGERIA, N. K. **Adubação e Nutrição mineral da Cultura de Arroz**. Ed. Campus Ltda. Rio de Janeiro, Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. 1984.

FEDERIZZI, L. C.; MILACH, S. C. K.; PACHECO, M. T.; BABOSA NETO, J. F. e SERENO, M. J. C. M. **Melhoramento da Aveia**. In: BOREM, A. (Ed) **Melhoramento de espécies cultivadas**. UFV, 131-142p., 1999.

FLORES, H. E. M.; BASTOS, F. M.; CHANG, Y. K.; **Efeito benéfico na saúde humana das fibras dietéticas presentes nos alimentos.** In: Simpósio de alimentos funcionais para o novo milênio, 1, Campinas, *Anais do...*, p.24-25, 2000.

FLOSS, E. L.; BAIER, A. C.; EICHLER, L.; GOELLNER, C. I.; FONTANELI, R.S. **Oat production and breeding in South Brasil.** Winnipeg, Oat Newsletter, vol. 33, p. 11-13, 1983.

FLOSS, E. L. **Aveia** In: BAIER, A. C., Floss, E. L. e Aude, M. I. S. **As lavouras de inverno – 1.** Rio de Janeiro, Coleção do Agricultor, Publicações Globo Rural, p. 26 - 27.1988.

FEDERIZZI, L. C.; ACAUAN, L. R.; CARVALHO, F. I. F.; BODANESE-ZANETTINI, M. H.; **Variabilidade fenotípica de diferentes caracteres da panícula em aveia (*Avena sativa* L.).** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.30, n.2, p.223-229 1995.

FOY, C. D. Effect of aluminum on plant growth. In: CARSON, F. W. (Ed.). **The plant root and its environment.** Charlottesville: University Press of Virginia, p. 601-642, 1974.

FOY, C. D.; **Differential aluminium and manganese tolerance of plant species and varieties in soils.** Ciência e Cultura, v.28, n.2, p. 150-155, 1976.

FOY, C. D.; CHANEY, R. L. e WHITE, M. C. **The physiology of metal toxicity in plants.** Rev. Plant Physiol. v.29, p. 511–567, 1978.

FOY, C.D. **Plant adaptation to acid, aluminum - toxic soils.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.19, n.7/12, p.959-987, 1988.

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

GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; TEDESCO M. J. M.; **Princípios de Fertilidade do Solo. Departamento de Solos.** Ed. UFRGS – Porto Alegre, 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 21ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Lages/SC, p.131-132, 2001.

HARTWIG, I.; **Eficiência da seleção na obtenção do ganho genético em aveia (*Avena sativa* L.)**. Projeto de Pesquisa, Fitomelhoramento - FAEM/UFPel, 2005.

HAUG, A. **Molecular aspects of aluminum toxicity**. CRC Critical Reviews in Plant Sciences, Boca Raton v.1, p.345-373, 1983.

HORST, W. J.; e FECHT, M.; **Physiology of Manganese toxicity and tolerance in *Vigna unguiculata***. Walp. Soil Sci. Plant Nutr. v.162 n. 3, p. 263–274, 1999.

KUMAR, P.B.A.N.; DUSHENKOV, V.; MOTTO, H. **Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils**. Environmental ScienceTechnology, v. 29, p.1232-1238, 1995.

LARSEN, P. B. DEGENHARDT, J.; TAI, C. Y.; STENZLER, L. M.; HOWELL, S. H.; KOCHIAN L. V.; **Aluminium-resistant *Arabidopsis mutans* that exhibit altered patterns of aluminium accumulation and organic acid release from roots**. Plant Physiology. V.117, p.9-17, 1998.

LI, X. F.; MA, J. F.; HIRADATE, S.; MATSUMOTO, H.; **Mucilage strongly binds aluminum but does not prevent roots from aluminum injury in *Zea mays***. Physiol Plant v.108, p.152-160, 2000.

MA, Z.; MIYASAKA, S. C. **Oxalate Exudation by Taro in Response to Al**. Plant Physiol. v.118, p.861–865, 1998.

MAGISTAD, O. C. **The aluminum content of the soil solution and its relation to soil reaction and plant growth**. Soil Sci., v. 20, p.181-225, 1925.

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H. J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba, Potafos, p.136, 1985.

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

MARSCHNER, H.; **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press, London, 1995.

MARTINS, L. F. **Estratégias de seleção para maior ou menor sensibilidade a produtos químicos expressa por trigos duplo-haplóides em hidroponia.** 2004 – 52f. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Fitomelhoramento- Universidade Federal de Pelotas.

MATSUMOTO, H., HIRASAWA, F., TORIKAI, H., **Localization of absorbed aluminum in pea root and it's binding to nucleic acid.** Plant Cell Physiology. Kyoto, v.17, p.637-631,1976.

MIYASAKA, S. C. e HAWES, M. C.; **Possible Role of Root Border Cells in Detection and Avoidance of Aluminum Toxicity.** Plant Physiol. v.125, n. 4: p.1978–1987, 2001.

NASS, L.L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES, I. M. C.; **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas.** 2° Ed. p.783-830, 2001.

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) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS.

OETTLER, G.; WIETHOLTER, S.; HORST, W. J. **Genetic parameters for agronomic traits of triticale and other small-grain cereals grown on aluminium-toxic soil in southern Brazil.** Plant Breeding 119, p.227-231, 2000.

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.

Pesquisa identifica genes de tolerância ao alumínio em cereais. Disponível em: www.agronline.com.br/agronoticias/noticia.php?id=855 Acesso em: 24 jan. 2006.

PERUZZO, G., ARIAS, G. **Barley and other cereals development in a Brazilian acid soil.** In: Slinkard, A.; Scoles, G. & Rosnagel, B (Eds), Proc. Of V Int. Oat Conference e VII Int. Barley Genet. Symp., - Univ. Extension Press, univ. of Katchewan, Saskatoon v.2, p.662 – 664, 1996.

PETERSON, D. M.; Composition and nutritional characteristics oat grain and products. In: MARSHALL, H. G.; SORRELLS, M. E. (Ed.). **Oat science and technology.** Madison: American Society of Agronomy, p.265-292, 1992.

PIÑEROS, M. A.; MAGALHAES, J. V.; CARVALHO-ALVES, V. M.; KOCHIAN L.V. **The physiology and biophysics of an aluminum tolerance mechanism based on root citrate exudation in maize.** *Plant Physiology*, v. 129, p.1194-1206, 2002.

PIÑEROS, M. A.; KOCHIAN, L. V.; **A patch-clamp study on the physiology of aluminum toxicity and aluminum tolerance in maize. Identification and characterization of Al³⁺ induced anion channels.** *Plant Physiology*, v.125, p.292-305, 2001.

RAMSAY L. M., GADD G. M.; **Mutants of *Saccharomyces cerevisiae* defective in vacuolar function confirm a role for vacuole in toxic metal ion detoxification.** *FEEMS Microbiol.* v.152, p.293-298, 1997.

RILO V. e LIGHTFOOT D. A. **Genetic analysis of resistance to Manganese toxicity in soybean using molecular markers.** *Soybean Genetics Newsletter.* v. 23, p.155–157. 1996.

ROUT G.R.; SAMANTARAY, S.; DAS, P.; **Studies on differential manganese tolerance of mung bean and rice genotypes in hydroponic culture.** *Agronomie* 21, INRA, EDP Sciences, p.725–733, 2001.

RYAN, P.R., DITOMASO, J.M., KOCHIAN, L.V. **Aluminium toxicity in roots: an investigation of spatial sensitivity and the role of the root cap.** *Journal Experimental Botany, Oxford*, v.44, p.437-446, 1993.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. **Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira.** *Ciênc. Agrotec., Lavras.* V. 27, n.2, p.325-331, 2003.

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

SÁNCHEZ-CHACÓN, C.D.; FEDERIZZI, L.C.; MILACH, S.C.K.; PACHECO, M.T. **Variabilidade genética e herança da tolerância á toxicidade do alumínio em aveia.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.9, p.1798–1808, 2000

SCOTT, B. J. e FISHER, J. A. **Selection of genotypes tolerant of aluminium and manganese.** In. Robson, A. D. (ed.) *Soil Acidity and Plant Growth*, Academic Press. Sydney. p.167 – 203, 1989.

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.; 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.

SOUZA, V.C.; LORENZI, H.; **Botânica sistemática. Guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira baseado na APG II.** Nova Odessa, S.P. Instituto Plantarum, 2005.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM (2002) **SAS: Statistical Analysis System-Getting Started with the SAS Learning Edition.** SAS Institute inc. Cary NC, 2002.

TINKER, P. B. **Levels, distribution and chemical forms of trace elements in food plants.** Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Serie B, Biological Sciences, v. 294, n.1071, p.41-55, 1981.

TOURIA E. J.; DOUGLAS A. C.; **Manganese toxicity in plants.** Plant Nutr. v. 212, p.353-386, 1998.

VARVARRO, V. **The action of manganese dioxide and other metallic compounds on the germination of seed.** Sta. Sper. Agr. Ital., v.45, p.917-929, 1912.

VELOSO C.A.C.; MURAOKA T.; MALAVOLTA E. e CARVALHO J.G. de; **Influência do manganês sobre a nutrição mineral e crescimento da pimenteira do reino (*Piper nigrum*, L.)** Sci. agric. v.52 n.2 p.325 - 331, 1995.

VÖGUELI-LANGE. R.; WAGNER, G. J.; **Subcellular localization of cadmium and cadmium-binding peptides in tabaco leaves.** Plant Physiol. v.92, p.1086-1093, 1990.

WAGNER, C. W.; MILACH, S. C. K.; FEDERIZZI, L. C.; **Genetic Inheritance of aluminum tolerance in oat.** Crop Breeding and Applied Biotechnology. V.1, n.1, p.22-26, 2001.

WANG Y. X.; WU P.; WU, Y.R. e YAN X. L.; **Molecular marker analysis of manganese toxicity tolerance in rice under greenhouse conditions** v. 238 p.227–233, 2002.

WILSON, W. A.; MCCOUCH, S. R.; SORRELS, M.; **Comparative Genetics of wheat, barley, oats, rye and maize**. In: Scoles, G. and Rosnagel, B (ed.). Proc. Of V Int. Oat Conference. Saskatoon, p.189-196,1996.

ZHENG, S. J.; MA, J. F. e MATSUMOTO, H.; **Continuous secretion of organic acids is related to aluminium resistance during relatively long-term exposure to aluminium stress** – Physiol. Plant. v. 103, p.209-214, 1998.