

NÍVEIS DE ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA PARA SELEÇÃO DE PLANTAS TOLERANTES DE ALFAFA E DE TREVO VERMELHO

JOÃO HENRIQUE SILVA CAETANO¹, DANIEL PORTELLA MONTARDO¹, MIGUEL DALL'AGNOL²

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi determinar níveis de Al em solução nutritiva para seleção de plantas de alfafa e de trevo vermelho tolerantes à acidez do solo, e comparar essas espécies nas concentrações de Al testadas. Avaliou-se oito concentrações de Al: 0, 0,2, 0,3, 0,4, 0,6, 0,9, 1,2, e 1,5 mg/L em uma solução nutritiva completa, com 10 % da força iônica normalmente utilizada e pH ajustado em 4,5. Avaliou-se o comprimento final das raízes e da parte aérea das plântulas. A avaliação das raízes mostrou-se mais eficiente do que a da parte aérea na seleção de plantas para tolerância à toxicidade do Al. As plantas de trevo vermelho mantiveram maior crescimento de raízes que as de alfafa até o nível 0,6 mg/L de Al. O nível mais adequado para seleção em ambas as espécies esteve entre 0,4 e 0,6 mg/L de Al. O método foi considerado rápido (13 dias) e de fácil execução.

Palavras-chave: *Medicago sativa* L., *Trifolium pratense* L., Melhoramento vegetal, Forrageiras.

ALUMINUM LEVELS IN NUTRIENT SOLUTION TO SELECT ALFALFA AND RED CLOVER TOLERANT PLANTS

ABSTRACT - The objective of this work was to assess different Al levels in nutrient solution to select Al tolerant alfalfa and red clover to acid soils and to compare them in different Al levels. Eight Al levels were tested: 0; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5 mg/L in nutrient solution continuously aerated, with 10 % of original ionic strength and pH 4.5. The length of roots and shoots were measured to assess the response to the Al solution. The evaluation of the root growth was more effective than that of the shoot in selecting Al tolerant plants. The red clover showed a better root growth up to 0,6 mg/L Al. The best Al level to select both species was between 0,4 and 0,6 mg/L Al. The selection method used was fast (13 days) and simple.

Key words: *Medicago sativa* L., *Trifolium pratense* L., Breeding, Forage Crops.

¹Eng. Agr., Mestre em Zootecnia, Dep. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Av.Bento Gonçalves 7712. Caixa Postal 776 CEP. 91501-970. Porto Alegre, RS

²Eng. Agr., PhD, Prof.Adjunto Dep. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Av.Bento Gonçalves 7712. Caixa Postal 776 CEP, 91501-970. Porto Alegre, RS
Recebido para publicação em 06-09-2001

INTRODUÇÃO

A demanda de informações relativas à produção de forragem de qualidade vem sendo intensificada no Rio Grande do Sul, principalmente em relação à bacia leiteira, que vem sendo ampliada na região do Planalto do estado. Leguminosas como a alfafa (*Medicago sativa* L.) e o trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.), quando bem manejadas, podem fornecer forragem de qualidade e promover aumento na produtividade do rebanho, bem como melhoria das características físicas e químicas do solo. Entretanto, estas espécies são muito dependentes de fertilidade do solo, exigindo investimentos na correção da acidez e adubação para minimizar os efeitos do alumínio tóxico (Al^{+3}) e a baixa disponibilidade de nutrientes, especialmente do fósforo. Os solos do Rio Grande do Sul são predominantemente ácidos e pobres em fósforo, o que justifica a procura por plantas mais tolerantes à solos ácidos.

Recentemente tem sido dado ênfase à sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Em decorrência, um esforço cada vez maior tem sido feito para a obtenção de plantas mais adaptadas a características específicas dos solos. A tolerância a níveis tóxicos de Al ou de manganês e a reduzida disponibilidade de fósforo no solo, têm sido estudada em vários centros de pesquisa do mundo (BAHIA FILHO et al., 1997; CARE, 1995). Em função disso, a busca de métodos para seleção de plantas para essas características passa a ser estratégica nos programas de melhoramento.

São muitas as técnicas testadas na seleção de plantas para produção em solos ácidos (VOIGT et al., 1997). Segundo CARADUS (1989), há duas metodologias básicas: uma em solo e a outra em solução nutritiva. A solução nutritiva não expressa fielmente o ambiente em que a planta vive, pois desconsidera o "complexo" solo e suas múltiplas interações. Pesquisadores criticam seu uso exclusivo, acreditando que o método possibilita a seleção de plantas com mecanismos de tolerância não efetivos em solo (CAMPBELL et al., 1988, CARADUS, 1989). Estudos comparando a tolerância ao Al em solo e solução tem obtido correlações entre 0,36 a 0,75 entre os métodos (CARADUS, 1989).

Apesar das restrições levantadas por alguns autores, a seleção de plantas em solução nutritiva é preferida pela rapidez e por não ser destrutiva, possibilitando a manutenção das plantas selecionadas. A solução nutritiva possibilita ainda, a avaliação de um grande número de plantas.

O primeiro passo para se utilizar qualquer um dos métodos de seleção citados anteriormente é definir o nível de estresse que provoca a expressão da variabilidade entre os genótipos. Para isso, deve-se considerar a padronização do meio de crescimento e os parâmetros de avaliação e utilizar-se pelo menos três níveis de Al, que permitam respostas variáveis e comparações com dados encontrados em casa de vegetação (FAGERIA et al., 1988).

O uso de parâmetros de avaliação na escolha de genótipos de plantas mais tolerantes são bastante discutidos na literatura. Devido a alta correlação entre o crescimento da parte aérea e das raízes de plantas submetidas a estresses por Al, alguns autores consideram efetiva a seleção com base na parte aérea da planta, o que torna o trabalho mais rápido e fácil (DEVINE et al., 1976; HOWELER, 1991). Entretanto, há relatos demonstrando a ação do Al primordialmente nas raízes (KOCHIAN, 1995; CARVER e OWNBY, 1995), o que justifica o fato da maioria dos trabalhos de melhoramento para tolerância à toxicidade do Al utilizarem aferições em raízes como parâmetro de avaliação.

Ultimamente tem-se observado tendência de redução nas concentrações de elementos em solução nutritiva completa e, até mesmo, a utilização de soluções que contenham apenas cálcio e alumínio sob pH baixo (NOVAIS et al. 1991; MENOSSO, 1994). Essas mudanças se baseiam no fato de que no solo as plantas não têm acesso a concentrações de nutrientes tão grandes quanto as normalmente utilizadas nas soluções e, principalmente, na maior facilidade e controle sobre o fator estresse, no caso, o alumínio (NOVAIS et al. 1991).

É importante o registro de que na seleção de plantas tolerantes ao Al em espécies como a alfafa e trevo vermelho não se busca um alto grau de tolerância, de maneira que sejam capazes de crescer em solos sem a mínima aplicação de corretivos, mas plantas com uma

melhor ajuste a um ambiente mais próximo da realidade brasileira, que é de solos ácidos e com variações de pH no perfil em decorrência das práticas de manejo e natureza própria dos solos. Programas bem sucedidos já foram conduzidos, como no caso do milho (BAHIA FILHO et al., 1997) e do trigo (HOWELER, 1991) mas programas de melhoramento e seleção de leguminosas temperadas são ainda escassos (CAETANO, 1998; MILAN et al., 1990). Uma vez definidas as concentrações de Al na solução e a metodologia, torna-se necessário que trabalhos de seleção em si comprovem, através de testes a campo e/ou laboratório, os ganhos genéticos na seleção. Assim, a definição da metodologia de trabalho consiste no primeiro passo, em um programa de melhoramento, para a obtenção de genótipos tolerantes.

Este estudo foi conduzido com o objetivo de determinar o nível de Al em solução nutritiva que permita a seleção de plantas de alfafa e de trevo vermelho mais adaptadas à presença desse elemento em nível tóxico, bem como comparar a resposta destas duas espécies sob as mesmas condições de seleção.

MATERIALE MÉTODOS

Um experimento foi realizado no laboratório de fisiologia vegetal do Departamento de Plantas de Lavouras da Faculdade de Agronomia da UFRGS, no período de 05/08 a 18/08/1997.

O trabalho foi composto com uma população de alfafa crioula, material de ampla base genética representada por 240 genótipos (10 plantas x 3 repetições x 8 tratamentos).

As sementes foram previamente escarificadas com água quente, a 70 °C, por 5 minutos. Após a escarificação as sementes foram colocadas sobre papel germinador umedecido e levadas à câmara de germinação, mantendo-se a temperatura em 25 °C. As plântulas utilizadas no experimento foram escolhidas pela similaridade em tamanho (radícula em torno de 1 cm), cor (claras) e formação de órgãos (normais).

O meio utilizado para o crescimento das plantas foi uma solução nutritiva completa (CAMARGO e OLI-

VEIRA, 1981), com 1/10 da força iônica presente nas soluções nutritivas normalmente descritas na literatura (Tabela 1). Os níveis de alumínio testados no experimento foram: 0, 0,2, 0,3, 0,4, 0,6, 0,9, 1,2 e 1,5 mg/L. A fonte de Al utilizada foi $AlCl_3 \cdot 16H_2O$. O pH da solução foi ajustado em 4,5 a cada dois dias, com HCl 0,5 N ou NaOH 0,25 N.

Os vasos utilizados possuíam um volume de 8,3 L com dimensões de 0,20 x 0,20 x 0,28 m. Todos os materiais (vasos, mangueiras, telas, etc.) foram lavados com hipoclorito de sódio (10 % da solução comercial) e, posteriormente, com água destilada. Os vasos foram postos num tanque de metal (2 x 1 x 0,4 m) com uma lâmina de água de 30 cm e aquecimento em torno de 25 °C para controlar variações na temperatura da solução. O sistema de iluminação foi feito com duas lâmpadas incandescentes de 100 W e duas fluorescentes de 40 W.

Tabela 1. Fontes de nutrientes, quantidade de produto e concentração nas soluções utilizadas no experimento. UFRGS, Porto Alegre, 1997

Fonte de nutrientes	Quantidade do produto ----- g/L -----	Concentração molar da solução ----- M -----
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	9,44/10 ²	3,99/10 ⁴
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	4,93/10 ²	2,00/10 ⁴
KNO_3	4,036/10 ²	3,99/10 ⁴
$(NH_4)_2SO_4$	5,66/10 ³	4,28/10 ⁵
$MnSO_4 \cdot H_2O$	4,46/10 ⁸	2,95/10 ¹⁰
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	7,51/10 ⁹	3,01/10 ¹¹
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	2,296/10 ⁹	0,80/10 ¹⁰
NaCl	1,75/10 ⁶	2,99/10 ⁸
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	2,42/10 ⁹	1,00/10 ¹¹
H_3BO_3	6,2/10 ⁷	9,87/10 ⁹
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	2,9/10 ⁴	1,04/10 ⁶

Cada vaso possuía um sistema de aeração contínua, através de mangueiras ligadas a compressores de ar utilizados em aquários, com capacidade de 40 L cada. As mangueiras foram introduzidas nos vasos através de pequenos orifícios feitos nas tampas, e eram furadas para a saída do ar, cuidando-se para manter uniforme a aeração dos vasos.

As plântulas foram colocadas diretamente sobre telas plásticas com malhas de diâmetro aproximado de 1,5 mm, evitando danificar as pontas das raízes. As telas foram coladas em tubos de PVC e estes, por sua vez, foram encaixados nas tampas dos vasos. Tanto as tampas como as telas eram removidas com facilidade, permitindo a visualização das raízes e o controle do pH da solução.

Após 13 dias de cultivo as medidas de comprimento foram realizadas colocando-se as plantas sobre uma superfície plana e com auxílio de uma régua graduada milimetrada. Foram tomados individualmente o comprimento total da planta e o da raiz principal; O comprimento da parte aérea foi calculado pela diferença entre os dois dados. Com estes dados, pela média do com-

primento (radicular ou aéreo) em cada nível, calculou-se a percentagem do desenvolvimento das plantas nos meios com Al em relação ao meio sem Al (nível 0), calculando-se o crescimento da raiz e o da parte aérea, o que caracteriza uma medida relativa de desenvolvimento. Utilizou-se o delineamento experimental completamente ao acaso, com 3 repetições e 16 tratamentos (2 espécies e 8 níveis de Al). Cada parcela (vaso) correspondia a um nível de Al (tratamento) testado e a uma repetição. Cada parcela (vaso) continha cinco plantas de trevo vermelho e dez de alfafa. A análise estatística dos dados compreendeu a análise da variância e a aplicação do teste de regressão polinomial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comprimento das raízes de alfafa e trevo vermelho foi afetado significativamente ($P < 0,05$) com o incremento na concentração de Al na solução. O modelo linear foi o que melhor se ajustou aos dados obtidos (FIGURA 1).

Tabela 2. Crescimento (cm), porcentagem (%) de crescimento em relação ao tratamento sem Al e teste F para regressão linear em raízes e parte aérea de trevo vermelho e alfafa submetidas a diferentes concentrações de Al (média = 3 repetições). UFRGS, Porto Alegre, 1997

Níveis de Al --(mg/L)--	Raízes				Parte Aérea			
	trevo		alfafa		trevo		alfafa	
	--cm--	--%--	--cm--	--%--	--cm--	--%--	--cm--	--%--
0,0	6,7	100	5,1	100	4,0	100	5,1	100
0,2	9,7	145	4,4	86	3,6	90	4,0	78
0,3	6,5	97	4,3	84	3,7	92	3,8	74
0,4	4,4	66	3,4	66	3,9	97	3,6	70
0,6	2,0	30	2,3	45	2,4	60	2,7	53
0,9	1,2	18	1,5	29	2,1	52	2,2	43
1,2	1,5	22	1,6	31	2,7	67	3,1	61
1,5	1,3	19	1,3	25	2,3	57	2,4	47
P <	0,047	-	0,035	-	0,058	-	0,052	-
CV %	44,8	-	24,4	-	18,1	-	20,1	-

As raízes de trevo apresentaram um aumento no crescimento no nível 0,2 mg/L de Al (TABELA 2) relativamente ao tratamento sem Al (45 % de aumento), seguido de uma pequena redução até o nível 0,3 mg/L de Al (3 %). A partir daí, houve uma acentuada redução no crescimento das raízes com o aumento na concentração de Al, sendo que, nos níveis 0,9, 1,2 e 1,5 mg/L, não se observou diferenças visuais claras entre as plantas (TABELA 2). Nesses níveis, o crescimento relativo das raízes atingiu aproximadamente 20 % do crescimento observado sem alumínio.

Aumentos no crescimento das plantas em resposta a pequenas doses de Al são relatados na literatura para diferentes espécies. O mecanismo pelo qual o Al se torna um estimulador de crescimento não é ainda bem esclarecido e pode ser diferente para espécies e ambientes distintos (FOY et al., 1978). MARTINS et al. (1993) observaram que alguns ecótipos de estilosantes (*Stylosanthes* spp.) eram mais produtivos em solos com saturação de Al de 61 % quando comparado a ecótipos que cresceram em solos com saturação de Al de 27 %. CAMPBELL et al. (1988) avaliaram populações de alfafa que produziram de 1 a 6 % a mais de matéria seca (MS) quando cultivada em solução nutritiva contendo 111 mM de Al em relação a plantas que cresceram em solução sem Al. Por sua vez, em soluções simples com Ca e Al, MENOSSO (1994) observou em alguns genótipos de soja um crescimento de raízes de 2 a 69 % maior quando submetidos a um estresse de 0,2 mg/L de Al, com uma concentração de cálcio de 50 mg/L em comparação a soluções sem presença de Al. Estes mecanismos podem estar relacionados com o aumento da solubilidade de ferro, ao bloqueio de cargas negativas nas paredes celulares e, desta forma, a promoção da absorção do fósforo, retardando a deterioração das raízes em soluções com baixa disponibilidade de Ca, entre outros efeitos (FOY et al., 1978).

As raízes de alfafa apresentaram uma redução gradativa no crescimento com o aumento das concentrações de alumínio na solução, diferindo do ob-

servado com o trevo vermelho. O maior decréscimo ocorreu a partir do nível 0,4 mg/L, sendo que praticamente não se constatou crescimento nos níveis com concentrações superiores a 0,6 mg/L de Al na solução (TABELA 2). Muitos trabalhos confirmam as respostas apresentadas, demonstrando a alta sensibilidade da alfafa ao Al (BOUTON, 1996; CAMPBELL et al. 1988). No entanto, apesar da sensibilidade da espécie, a seleção de plantas tolerantes têm demonstrado haver variabilidade genética para a tolerância ao Al, possibilitando progressos na seleção de alfafa para solos ácidos (CAETANO, 1998; CAMPBELL et al., 1988; DALL'AGNOL et al., 1996). Por outro lado, BOUTON (1996) resalta que dificilmente se encontrará germoplasma de alfafa com excepcional tolerância, por se tratar de uma espécie muito sensível a esse elemento em níveis tóxicos.

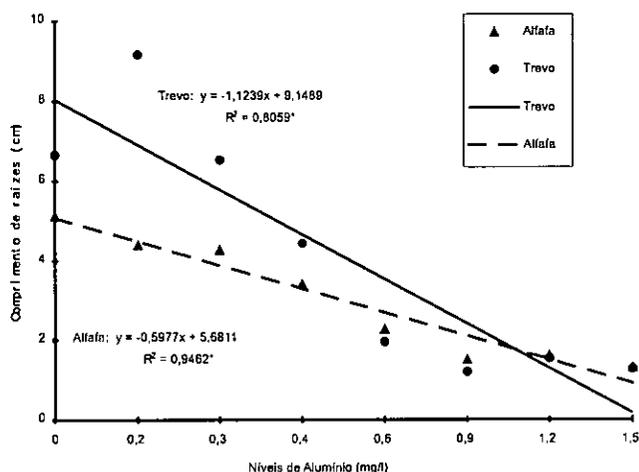


Figura 1. Crescimento de raízes das plantas de alfafa e de trevo vermelho submetidas a níveis crescentes de alumínio em solução nutritiva, UFRGS, Porto Alegre, 1997

O trevo vermelho, quando selecionado para tolerância a acidez do solo, demonstra mecanismo de resposta diferenciado da alfafa. A alfafa possui tendência em melhorar o aproveitamento de elementos como o P, Ca, S e K, enquanto que o trevo vermelho tem sua eficiência de aproveitamento destes ele-

mentos praticamente inalterada (BALIGAR e FAGERIA, 1997). MACKAY et al. (1991) avaliaram diversas espécies quanto a sensibilidade e persistência em solos ácidos e, dentre os grupos observados, o grupo composto por alfafa, trevo vermelho e *Trifolium dubium* ficou entre os mais sensíveis. Contudo, MILAN et al. (1990) testando, em casa de vegetação, espécies forrageiras quanto a tolerância ao alumínio e a eficiência na utilização de P, observaram que o trevo vermelho foi tolerante a baixos níveis de P no solo e eficiente na utilização desse nutriente. O trevo vermelho ainda se mostrou mais produtivo que espécies reconhecidamente tolerantes a solos ácidos, como o cornichão (*Lotus corniculatus* L.) e o *Lotus uliginosus* cv. Maku. Estes resultados demonstram que existia variabilidade genética na população de trevo vermelho avaliada, possibilitando a seleção de genótipos mais tolerantes a solos ácidos e/ou aos baixos níveis de P no solo.

No início do experimento, o comprimento das raízes tanto de trevo vermelho como de alfafa era em torno de 1 cm. Entretanto, verifica-se que o trevo apresentou crescimento maior sob concentrações mais baixas de Al, enquanto que a partir do nível 0,9 mg/L de Al, praticamente não houve crescimento, desaparecendo as diferenças entre plantas em virtude do pequeno comprimento das radículas (TABELA 2). Esta resposta das raízes demonstra que sob este nível de Al, a sua toxidez não permitiu o desenvolvimento das plantas. Nas concentrações mais baixas de Al, o trevo vermelho apresentou maior crescimento e tolerância nas raízes em relação a alfafa. Apesar das diferenças nas respostas entre as espécies, os níveis mais adequados para seleção foram semelhantes, ficando entre 0,4 e 0,6 mg/L, pois foram aqueles que permitiram uma maior variação de crescimento entre as plantas e um desenvolvimento médio das raízes e parte aérea.

A alfafa e o trevo vermelho possuem um sistema radicular semelhante, todavia, é importante lembrar que as respostas das plantas em solo e solução podem ser variáveis e muitas vezes não correlacionadas podendo envolver diferentes mecanismos fisiológi-

cos de tolerância (CAMPBELL et al., 1988). Além disso, em solução nutritiva as plantas são submetidas a um ambiente uniforme quando comparado ao solo, onde há enormes variações na rizosfera de cada planta em pH, nutrientes, matéria orgânica, etc. Alguns autores atribuem à essas razões as respostas não correlacionadas entre solo e solução (HOWELER, 1991; CARVER e OWNBY, 1995). Por outro lado, provavelmente genótipos que apresentam um maior crescimento radicular podem suportar melhor o estresse imposto pelo Al (CARE, 1995), o que poderia explicar as respostas encontradas para o trevo nesse trabalho. O decréscimo no desenvolvimento da parte aérea do trevo vermelho e alfafa começou a partir do nível 0,2 mg/L, mantendo-se semelhante até o nível 0,4 mg/L. Esse decréscimo foi mais acentuado em alfafa, com reduções médias de 25 % no seu desenvolvimento, sendo que, em trevo vermelho esse decréscimo foi bem menor, em torno de 7 %.

Da mesma forma que nas raízes, a partir do nível 0,4 mg/L, a redução no crescimento foi mais evidente, com valores praticamente constantes até o nível

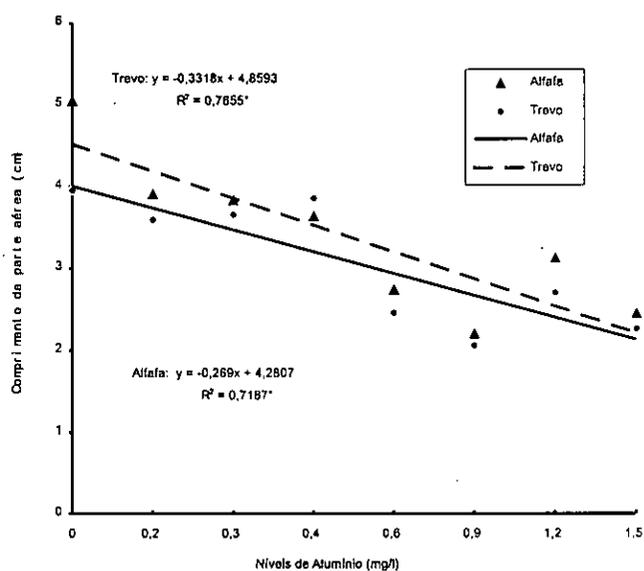


Figura 2. Crescimento da parte aérea das plantas de alfafa e de trevo vermelho submetidas a níveis crescentes de alumínio em solução nutritiva. UFRGS, Porto Alegre, 1997

1,5 mg/L (TABELA 2 e FIGURA 2). No entanto, quando se comparam os percentuais de redução no crescimento da parte aérea e das raízes, nota-se uma redução mais intensa no crescimento das raízes (TABELA 2), demonstrando resposta mais evidente em relação à parte aérea.

As respostas encontradas possibilitam a utilização do crescimento da parte aérea como parâmetro de seleção de plantas em solução de cultura, através de escores visuais ou de pesagem. A utilização do desenvolvimento da parte aérea como bom parâmetro na seleção alfafa mais tolerante ao Al são relatadas em alguns trabalhos (SIMPSON et al., 1977; DEVINE et al. 1976), já para outras espécies, como o trigo, as respostas em raízes e parte aérea não possuem boa correlação (CARVER e OWNBY, 1995).

A correlação entre o comprimento das raízes e da parte aérea foi significativa ($P < 0,05$) pelo teste T, com coeficientes de 0,67 para trevo vermelho e de 0,80 para alfafa (Dados não apresentados em tabela). Isto permite concluir que há possibilidade de selecionar plantas mais tolerantes ao Al tóxico através da avaliação apenas da parte aérea, facilitando o trabalho de seleção.

A regressão linear do comprimento da parte aérea em relação aos níveis de Al foi significativa em ambas as espécies com $P < 0,052$ e $0,058$ para alfafa e trevo, respectivamente (TABELA 2). Observa-se também um alto coeficiente de determinação para a resposta da parte aérea em relação ao Al 0,76 e 0,72 para trevo e alfafa, respectivamente (FIGURA 2), corroborando com a possibilidade de realização de seleções com base na parte aérea.

No entanto, uma vez que a seleção de plantas apenas através da parte aérea ainda é controversa, é necessário cautela na análise dos dados e na escolha da melhor forma de seleção. A maioria dos pesquisadores utilizam a avaliação de raízes como o melhor parâmetro de indicação de tolerância (HOWELER, 1991; VOIGT et al., 1997). Os trabalhos recentes de fisiologia tem sido voltados aos efeitos do Al nas extremidades das raízes e não nas raízes como um todo, e muito menos na parte

aérea (KOCHIAN, 1995). Desta forma, as raízes são o ponto primordial de ação do Al, onde seus efeitos são primeiramente notados.

Além disso, a análise dos percentuais de redução no crescimento da parte aérea (TABELA 2) mostra que esta apresentou um decréscimo no desenvolvimento bem menos evidente do que as raízes. Isto dificulta a escolha da concentração de Al em solução mais adequada para seleção, sendo essa dificuldade acentuada mesmo quando são utilizados um grande número de plantas e de maiores concentrações.

As raízes obtiveram coeficientes de determinação mais acentuado em relação a parte aérea (0,80 para trevo e 0,94 para alfafa) e, levando-se em consideração a facilidade de seleção e a segurança quanto ao melhor nível de Al, a avaliação do crescimento de raízes é o meio mais ajustado para se selecionar as plantas em um programa de melhoramento de alfafa e de trevo vermelho realizada em solução nutritiva.

Finalmente, pela complexidade existente na produção de vários litros de solução, com diferentes concentrações, dentro e entre as etapas de seleção em um programa de melhoramento, bem como na manipulação do material utilizado e o tempo gasto na maioria dos trabalhos tradicionais com solução nutritiva, as simplificações adotadas neste experimento, como a redução da concentração dos produtos e o crescimento das plantas diretamente na solução com alumínio, foram coerentes e adequadas, apresentando bons resultados na avaliação do crescimento de raízes e da parte aérea de plantas de alfafa e de trevo vermelho para tolerância ao alumínio.

CONCLUSÕES

1- O trevo vermelho é mais tolerante ao Al^{+3} que a alfafa, especialmente sob níveis mais baixos de Al^{+3} em solução;

2- Nas condições estudadas e para ambas as espécies, os níveis de Al entre 0,4 e 0,6 mg/L foram adequados para a seleção de plantas tolerantes com base nas raízes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAHIA FILHO, A.F.C.; MAGNAVACA, R.; SCHAFFERT, R.E.; ALVES, V.M.C. Identification, utilization and economic impact of maize germplasm tolerant to low levels of phosphorus and toxic levels of exchangeable aluminum in Brazilian soils. In: **Plant-soil interaction at low ph: sustainable agriculture and forestry production**, 1997, Belo Horizonte. *Anais...Belo Horizonte:: SBSC*, 1997. p. 59-72.
- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K. Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency. In: **PLANT-SOIL INTERACTION AT LOW PH: SUSTENABLE AGRICULTURE AND FORESTRY PRODUCTION**, 1997, Belo Horizonte. *Anais...Belo Horizonte: SBSC*, 1997. p. 75-96.
- BOUTON, J.H. Screening the alfalfa core collection for acid soil tolerance. **Crop Science**, Madison, v.36, n.1, p. 198-200, 1996.
- CAETANO, J.H.S. **Seleção de alfafa para solos ácidos**. Porto Alegre, 1998. 129 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia – Plantas Forrageiras) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- CAMARGO, C.E.O.; 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. 21-31, 1981.
- CAMPBELL, T.A.; ELGIN, J.H.; FOY, C.D. et al. Selection in alfalfa for tolerance to toxic levels of aluminum. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, n.3, p. 743-753, 1988.
- CARADUS, J.R. Breeding temperate forage legumes for tolerance to aluminum toxic and low phosphorus soils. In: **REUNIÃO DO GRUPO TÉCNICO REGIONAL DO CONE SUL EM MELHORAMENTO E UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS FORRAGEIROS DAS ÁREAS TROPICAIS E SUBTROPICAIS**, 11., 1989, Lages. *Anais... Lages: (S.n.)*, 1989. p. 76-126.
- CARE, D.A. The effect of aluminum concentration on root hairs in white clover (*Trifolium repens* L.). **Plant and Soil**, Norwell, v. 171, n.1, p. 159-162, 1995.
- CARVER, B.F.; OWNBY, J.D. Acid Soil Tolerance In Wheat. **Advances in Agronomy**, New York, v. 64, n. 1, p. 117-171, 1995.
- DALL'AGNOL, M.; BOUTON, J.H.; PARROTT, W.A. Screening methods to develop alfalfa germplasm tolerant to acid, aluminum toxic soils. **Crop Science**, Madison, v. 36, n.1, p. 64-70, 1996.
- DEVINE, T.E.; FOY, C.D.; FLEMING, A.L. et al. Development of alfalfa strains with differential tolerance to aluminum toxicity. **Plant and Soil**, Norwell, v. 44, n. 1, p. 73-79, 1976.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J. Aluminum toxicity in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 303-319, 1988.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Rockville, v. 29, n. 1, p. 511-566, 1978.
- HOWELER, R.H. Identifying plants adaptable to low pH conditions. In: **PLANT SOIL INTERACTIONS AT LOW pH**, 1991, Beckley. *Anais... Beckley: Kluwer Academic Publishers*, 1991. p. 885-904.
- KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Rockville, v. 46, n. 1, p. 237-60, 1995.
- MACKAY, A.D.; CARADUS, J.R.; WEWALA, S. Aluminum tolerance of forage species. In: **PLANT SOIL INTERACTIONS AT LOW pH**, 1991, Beckley. *Anais... Beckley: Kluwer Academic Publishers*, 1991. p. 925-930.
- MARTINS, C.E.; AMARAL, F. de A.L. do; COSER, A.C. Comportamento de espécies e ecótipos de estilosantes submetidos a diferentes níveis de saturação de alumínio. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 194-204, 1993.
- MENOSSO, O.G. **Toxicidade do alumínio em soja: tolerância de genótipos e mecanismos**. Porto Alegre, 1994. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia-Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- MILAN, P.A.; RITTER, W.; DALL'AGNOL, M. Seleção de leguminosas forrageiras tolerantes a alumínio e eficientes na utilização de fósforo. II. Leguminosas exóticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 12, p. 1739-1746, 1990.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J. (Ed.) **Métodos de pesquisa em fertilidade de solo**. Brasília: Embrapa-SEA, 1991. p. 189-253.
- SIMPSON, J.R.; PINKENTON, A.; LAZDOVSKIS, J. Effects of subsoil calcium on the root growth of some Lucerne genotypes (*Medicago sativa* L.) in acid soil profiles. **Australian Journal Agricultural Research**, v. 28, p. 629-638, 1997.
- VOIGT, P.W.; MORRIS, D.R.; GODWIN, H.W. A soil-on-agar method to evaluate acid-soil resistance in white clover. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 5, p. 1493-1496, 1997.