

Resposta Diferencial de Cultivares de Sorgo Forrageiro para Tolerância ao Alumínio



ISSN 1679-0154
Dezembro 2016

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 150

Resposta Diferencial de Cultivares de Sorgo Forrageiro para Tolerância ao Alumínio

Cicero Beserra de Menezes
Emanuel Gava
Marcos Ventura Faria
Jose Avelino Santos Rodrigues
Marcos Paulo Mingote Júlio
Crislene Vieira Santos
Robert Eugene Schaffert

Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2016

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45

Caixa Postal 151

CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3027-1100

Fax: (31) 3027-1188

www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Sidney Netto Parentoni

Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau

Membros: Antonio Claudio da Silva Barros, Cynthia Maria Borges

Damasceno, Maria Lúcia Ferreira Simeone, Monica Matoso

Campanha, Roberto dos Santos Trindade, Rosângela Lacerda de

Castro

Revisão de texto: Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro

Tratamento de ilustrações: Tânia Mara Assunção Barbosa

Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa

Foto(s) da capa: Cícero Beserra de Menezes

1ª edição

Versão Eletrônica (2016)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Milho e Sorgo

Resposta diferencial de cultivares de sorgo forrageiro para tolerância ao alumínio / Cicero Beserra de Menezes ... [et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2016.

22 p. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 150).

1. *Sorghum bicolor*. 2. Forragem. 3. Melhoramento vegetal. I. Menezes, Cicero Beserra de. II. Série.

CDD 633.174 (21. ed.)

© Embrapa 2016

Sumário

Resumo	4
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	12
Conclusões	19
Agradecimentos	19
Referências	19

Resposta Diferencial de Cultivares de Sorgo Forrageiro para Tolerância ao Alumínio

Cicero Beserra de Menezes¹

Emanuel Gava²

Marcos Ventura Faria³

Jose Avelino Santos Rodrigues⁴

Marcos Paulo Mingote Júlio⁵

Crislene Vieira Santos⁶

Robert Eugene Schaffert⁷

Resumo

A toxidez de alumínio é um dos principais fatores limitantes à produção de grãos e forragem em solos ácidos, os quais compreendem grandes áreas em regiões tropicais e subtropicais. A cultura do sorgo apresenta grande variabilidade para esta característica, havendo no mercado híbridos de sorgo granífero tolerantes ao alumínio. O presente estudo objetivou avaliar a resposta diferencial de um conjunto de cultivares de sorgo forrageiro, buscando entender o efeito

¹Eng. Agrôn., D.Sc. Genético e Melhoramento de Plantas, Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 424 km 45, Cpostal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG, cicero.menezes@embrapa.br

²Graduando Universidade Estadual do Centro-Oeste, emanuel_gava2@hotmail.com

³Professor Universidade Estadual do Centro-Oeste, mfarria@unicentro.br

⁴Eng.-Agrôn., Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo Rod. MG 424 km 45, Cpostal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG, avelino.rodrigues@embrapa.br

⁵Graduando Universidade Federal de São João Del-Rei, marcospmj@yahoo.com.br

⁶Graduanda Universidade Federal de São João Del-Rei, cris-vieira15@hotmail.com

⁷Eng.-Agrôn., Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 424 km 45, Cpostal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG, robert.schaffert@embrapa.br

do alumínio no crescimento radicular e selecionar cultivares tolerantes para cultivo em áreas afetadas por este estresse abiótico. Foram avaliados quatro híbridos comerciais, vinte híbridos experimentais, quatro variedades, e duas testemunhas, totalizando 32 tratamentos. Os tratamentos foram submetidos a duas concentrações de alumínio (Al) em solução nutritiva, 0 e 27 μM de atividade de Al^{3+} . Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso em fatorial simples, com três repetições. Foram avaliadas as características Crescimento Líquido de Raiz e Crescimento Relativo de Raiz Seminal. Houve diferenças significativas dos efeitos de genótipos, ambientes e da interação genótipos x ambientes, mostrando uma resposta diferencial das cultivares. O estresse de alumínio reduziu o crescimento radicular em aproximadamente 54%, indicando a necessidade da seleção de cultivares mais tolerantes, para atingir o potencial de rendimento de massa verde da cultura. Todas as cultivares apresentaram médias de crescimento menores no ambiente com alta saturação de alumínio em relação ao ambiente sem alumínio, exceto pela testemunha tolerante BRS 373 e o híbrido experimental CMSXS 222x1141570. Os híbridos comerciais BRS 610 e BRS 655, os híbridos experimentais BR007x1141570 e CMSXS157x1141570, e as variedades experimentais 1141562, 1141572 e 1140562 mostraram-se tolerantes ao alumínio, com redução mínima no crescimento de raiz.

Termos para indexação: *Sorghum bicolor*, forragem, estresse abiótico, seleção de linhagens, melhoramento vegetal.

Differential Response of Forage Sorghum Cultivars to Aluminum Tolerance

Cicero Beserra de Menezes¹

Emanuel Gava²

Marcos Ventura Faria³

Jose Avelino Santos Rodrigues⁴

Marcos Paulo Mingote Júlio⁵

Crislene Vieira Santos⁶

Robert Eugene Schaffert⁷

Abstract

Aluminum toxicity is one of the main limiting factors for grain and forage production in acid soils, which comprise large areas in tropical and subtropical regions. Sorghum presents great variability for this trait, with tolerant grain sorghum being released in the market. Forage sorghum studies for tolerance to aluminum are scarce, and researches to understand the effect of the stress are required, to support the development of tolerant cultivars. The purpose of this work was to evaluate cultivars of forage sorghum to aluminum tolerance, in order to understand the effect of the stress on root growth and select tolerant cultivars. Four commercial hybrids, twenty experimental hybrids, four varieties, and two check cultivars were evaluated. The trial was performed in growth chamber, under controlled temperature and humidity. The cultivars were submitted to two concentrations of aluminum (0 and 27 μM). Complete random blocks design in factorial, with three replications, was used. The characteristics evaluated were net root growth and relative root growth. There were significant differences of the effects

of genotypes, environments and the interaction genotypes x environments, showing a differential cultivar response. The stress of aluminum reduced root growth by approximately 54%, indicating the need for tolerant cultivars, to achieve the potential yield of the crop. All cultivars showed smaller roots in the environment with high saturation of aluminum, except by the check cultivar BRS 373 and the experimental hybrid CMSXS222x1141570. The commercial hybrids BRS 655 and BRS 610, the experimental hybrids BR007x1141570 and CMSXS157x1141570, and the experimental varieties 1141562, 1141572 and 1140562 were tolerant to aluminum, with minimal reduction in root growth.

Index terms: *Sorghum bicolor*, forage, abiotic stress, line selection, plant breeding, grain sorghum

Introdução

O sorgo é uma cultura relativamente nova nas Américas, sendo reconhecido como cultura potencial de grãos e forragem somente no final do século XIX. No Brasil, a sua introdução se atribui aos escravos, quando a cultura ficou conhecida como milho d'Angola. Na década de 1970, a cultura começou a atingir áreas expressivas de plantio, principalmente no Rio Grande do Sul e em São Paulo, começando a entrar nas estatísticas de produção nacional (SANTOS et al., 2005).

Existem cinco tipos de sorgo cultivados no Brasil: granífero, forrageiro (silagem e pastejo), sacarino, biomassa e vassoura. O sorgo granífero é uma planta de porte baixo a médio, adaptado para colheita mecânica do grão. O sorgo forrageiro é uma planta de porte médio a alto, existindo o forrageiro silageiro e

o corte e/ou pastejo. O sorgo sacarino é uma planta de porte alto, possuindo colmo suculento e doce. O sorgo biomassa também possui porte alto, com alta produção de massa seca para queima ou geração de energia de segunda geração. Por fim, o sorgo vassoura, que é utilizado em comunidades rurais para produção artesanal de vassouras (RODRIGUES et al., 2015).

O sorgo silageiro é uma excelente opção de alimento para animais de alto rendimento, como o gado leiteiro. O sorgo e o milho são as melhores gramíneas para ensilagem, pela sua facilidade de cultivo, altos rendimentos de massa verde e alta qualidade alimentar, por causa do seu elevado potencial de produção de grãos, não necessitando de adição de qualquer aditivo químico ou biológico. O sorgo silageiro é usado principalmente para alimentação de bovinos leiteiros, o que significa que está presente em quase todo o Brasil, devendo suportar grandes variações de ambientes e condições climáticas (RODRIGUES, 2014).

Dentre os problemas encontrados nas áreas produtoras de sorgo, a toxidez de alumínio é apontada como um dos mais limitantes à produção tanto de grãos como de massa verde. Os solos brasileiros são predominantemente ácidos e, conseqüentemente, apresentam uma concentração de alumínio alta, que é tóxica para plantas. Dessa forma, estudos que visam selecionar genótipos de sorgo mais tolerantes são importantes, aumentando assim a produtividade da cultura (PARRELLA et al., 2014; MENEZES et al., 2014).

A presença do alumínio (Al) no solo diminui o crescimento e o desenvolvimento das raízes, e reduz a absorção dos nutrientes essenciais ao desenvolvimento da planta, o que se

torna desfavorável ao desenvolvimento de genótipos que são sensíveis ao elemento. Solos com elevada saturação do Al apresentam obstáculos químicos e físicos ao desenvolvimento da cultura, resultando em redução de produtividade (ECHART; CAVALLI-MOLINA, 2001; KOCHIAN et al., 2004; MIGUEL et al., 2010).

A avaliação de genótipos tolerantes ou suscetíveis à presença de alumínio tem sido realizada em experimentos com solução nutritiva em câmara de crescimento vegetal. Este método utiliza solução nutritiva com e sem saturação de alumínio e permite avaliar um grande número de plantas em um curto período de tempo, sendo mais econômico. A utilização da solução nutritiva garante um maior controle sobre fatores que interferem, na ação tóxica do Al e no comportamento das plantas, como quantidade e disponibilidade dos nutrientes, oferecendo condição padrão para todas as plantas (MAGNAVACA; BAHIA FILHO, 1991).

Em sorgo granífero, os trabalhos de tolerância ao alumínio estão mais avançados, inclusive com o desenvolvimento de marcadores moleculares para o gene *Altsb*, que condiciona tolerância ao Al (CANIATO et al., 2007, 2014; MENEZES et al., 2014). Como a variabilidade genética do sorgo é expressiva espera-se encontrar também genótipos tolerantes ao alumínio em sorgo do tipo forrageiro.

O presente estudo objetivou avaliar a resposta diferencial de um conjunto de cultivares de sorgo forrageiro, buscando entender o efeito do alumínio no crescimento radicular e selecionar cultivares tolerantes para cultivo em áreas afetadas por este estresse abiótico.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em câmara de crescimento na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas-MG. O experimento consistiu da avaliação de vinte híbridos experimentais (Tabela 2), quatro híbridos comerciais (BRS 655, BRS 610, Volumax e SS318), 02 variedades comerciais (BRS 506 e Ponta Negra), quatro variedades experimentais (1141126, 1141562, 1141572 e 1140562), e duas testemunhas (BRS 373 e BRS 332), totalizando 32 tratamentos.

Os tratamentos foram submetidos a duas concentrações de alumínio (Al) em solução nutritiva, 0 e 27 μM de atividade de Al^{3+} , ambas com pH 4. Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso em fatorial simples, com três repetições.

Para cada tratamento foram utilizadas 150 sementes, aquelas que estavam tratadas com inseticidas foram cobertas apenas por água destilada, as não tratadas passaram por um processo de desinfecção, em que foram cobertas com 50 mL de cloro ativo a 4,6% para 1.000 mL de água destilada, mantidas em agitação constante por cinco minutos, e enxaguadas oito vezes com água destilada. As sementes foram germinadas em papel Germitest umedecido com água destilada, permanecendo em câmara de crescimento BOD por três dias (temperatura diurna de 27 °C, temperatura média noturna de 21 °C).

Passadas as 48 horas, as plântulas foram transplantadas para recipientes plásticos com perfurações, sendo esses dispostos em uma placa de PVC dentro de bandejas plásticas. Cada placa continha 49 furos (sete fileiras na vertical com sete furos cada). Foram adicionados 8 litros de solução nutritiva sem alumínio

nas respectivas bandejas, permanecendo em câmara de crescimento.

As plântulas foram mantidas por 24 horas em solução nutritiva completa com a ausência do elemento Al, sendo esta a solução nutritiva Clark (CLARK, 1975) modificada por Magnavaca (MAGNAVACA et al., 1987). Após este período foi medido o Comprimento de Raiz Inicial (CR_0) e trocada a solução nutritiva em todas as bandejas por solução contendo com 0 ou $27\mu\text{M}$ Al^{3+} . O Al foi acrescido na forma de $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$, e o pH ajustado para 4,0.

Na análise conjunta foram avaliados os seguintes caracteres: Comprimento Líquido da Raiz Seminal 120 horas após o estresse, sendo expresso em mm (CLR_{120}) e Crescimento Relativo da Raiz Seminal 120 horas após o estresse (CRRS_{120}). O CLR_{120} foi obtido pela fórmula: $\text{CLR}_{120} = \text{CR}_{120} - \text{CR}_0$, em que CR_{120} é o crescimento de raiz medido 120 horas após o estresse, e CR_0 é o crescimento de raiz medido 0 (zero) horas após o estresse. O CRRS_{120} foi obtido pela fórmula: $\text{CRRS}_{120} = [(\text{CRS}_{120} - \text{CR}_0) / \text{CR}_0] * 100$, aplicando-se o mesmo raciocínio acima. Todos os parâmetros avaliados são apresentados nos dois níveis de atividade de alumínio (0 e $27\mu\text{M}$ de atividade de Al^{3+}).

Os dados obtidos no experimento foram tabulados e submetidos à análise de normalidade e análise de variância. As médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade, para todos os tratamentos, em esquema de fatorial simples (32 tratamentos x dois ambientes). Foi utilizado o programa estatístico Genes (CRUZ, 2013).

Resultados e Discussão

As variedades e os híbridos experimentais testados pertencem ao programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, e estão em fase avançada de melhoramento, participando de ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU). Os híbridos comerciais avaliados (BRS 655, BRS 610, Volumax e SS318) estão entre os mais plantados no Brasil e carecem de informações sobre tolerância ao alumínio. A variedade Ponta Negra é bastante utilizada para silagem no semiárido, desde o Norte de Minas Gerais até o Piauí, e também vem sendo testada em algumas regiões do Centro-Oeste para plantios em safrinha, por ser insensível ao fotoperíodo. A variedade BRS 506 é do tipo sacarina, e vem sendo utilizada por alguns produtores de leite por possuir alto rendimento de massa. As quatro variedades experimentais apresentam alto rendimento de massa verde e foram selecionadas pelo seu ótimo desempenho no semiárido. Como testemunhas foram utilizados os híbridos graníferos BRS 373 (Tolerante) e BRS 332 (Suscetível).

Na Tabela 1 é apresentada a análise de variância conjunta dos dados para as quatro características avaliadas. Os efeitos de cultivares, ambientes e interação cultivares x ambientes foram todos significativos a 1% de probabilidade. Estes resultados mostram haver variabilidade entre os genótipos avaliados e a interação significativa indica uma resposta diferenciada do crescimento radicular dos genótipos de um ambiente para o outro, ou seja, os genótipos com maior crescimento no ambiente sem alumínio não necessariamente serão os mesmos no ambiente com alumínio.

A precisão experimental, normalmente avaliada pelo coeficiente de variação (CV%), está diretamente relacionada ao sucesso do experimento. No presente estudo, os coeficientes de variação foram baixos, mostrando boa precisão experimental.

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta para as características Crescimento da Raiz Seminal 120 horas após o estresse (CLR_{120}) em mm, e Crescimento Relativo da Raiz Seminal 120 horas após o estresse ($CRRS_{120}$), em percentagem. Sete Lagoas-MG, 2016.

FV	GL	Quadrados Médios	
		CLR - 120	CRRS - 120
BLOCOS	2	92,11783	277,33917
GENÓTIPOS	31	2099,657 **	8883,495 **
AMBIENTES	1	169740,8 **	302249,6 **
GEN x AMB	31	1130,831 **	3832,161 **
RESÍDUO	126	82,96772	171,65501
Média		79,37	108,48
CV (%)		11,48	12,08

** significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F.

A diferença média entre o Crescimento Líquido de Raiz 120 horas após o estresse nos dois níveis de Al foi de 59 mm, o que representa uma redução de 54,5 % no crescimento de raiz exposta a $27\mu\text{M}$ de Al comprovando o efeito do Al^{3+} sobre os híbridos avaliados. O mesmo ocorreu com o Crescimento Relativo de Raiz Seminal, com redução de 69 mm, o que representa uma redução de 54% diferença no crescimento de raiz (Figura 1).

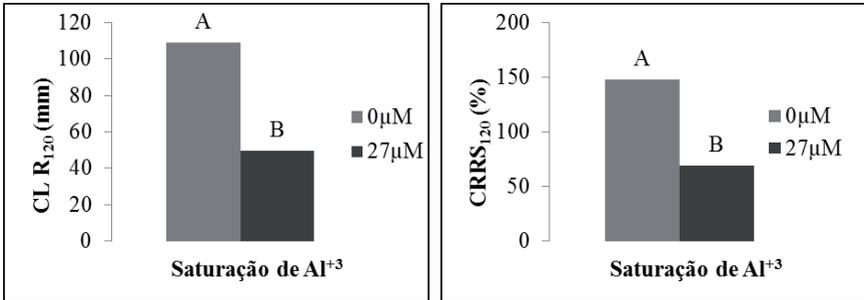


Figura 1. Média geral de Crescimento Líquido de Raiz e Crescimento Relativo de Raiz Seminal, 120 horas pós o estresse de alumínio, em dois níveis de saturação de alumínio (0 e 27 μM), de 32 cultivares de sorgo forrageiro em solução nutritiva. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG.

As duas testemunhas utilizadas no estudo mostraram-se bastante contrastantes para tolerância ao alumínio (Figura 2). O Crescimento Líquido de Raiz da testemunha tolerante (BRS 373) foi pouco afetado pela saturação de alumínio, apresentado leve redução. Quando feita a estimativa de crescimento em relação ao dia zero, pelo Crescimento Relativo de Raiz Seminal (CRRS), a raiz cresceu mais na condição de alumínio em comparação ao ambiente sem alumínio, comprovando sua tolerância. A testemunha suscetível (BRS 332) foi muito afetada pela saturação de alumínio. O Crescimento Líquido de Raiz da testemunha suscetível reduziu 34% na condição de 27 μM de Al³⁺ em relação ao ambiente sem Alumínio. Em termos de Crescimento Relativo de Raiz Seminal a redução foi de 36%. Apesar de menor do que a redução da média geral, citada acima, que foi de 54%, isso representa margem considerável de dano causado pelo alumínio na raiz desta cultivar. A redução apresentada neste trabalho corrobora dados encontrados na

literatura quando da avaliação de cultivares de sorgo granífero (SILVA, 2008; SCHAFFERT et al., 2009; CANIATO et al., 2014).

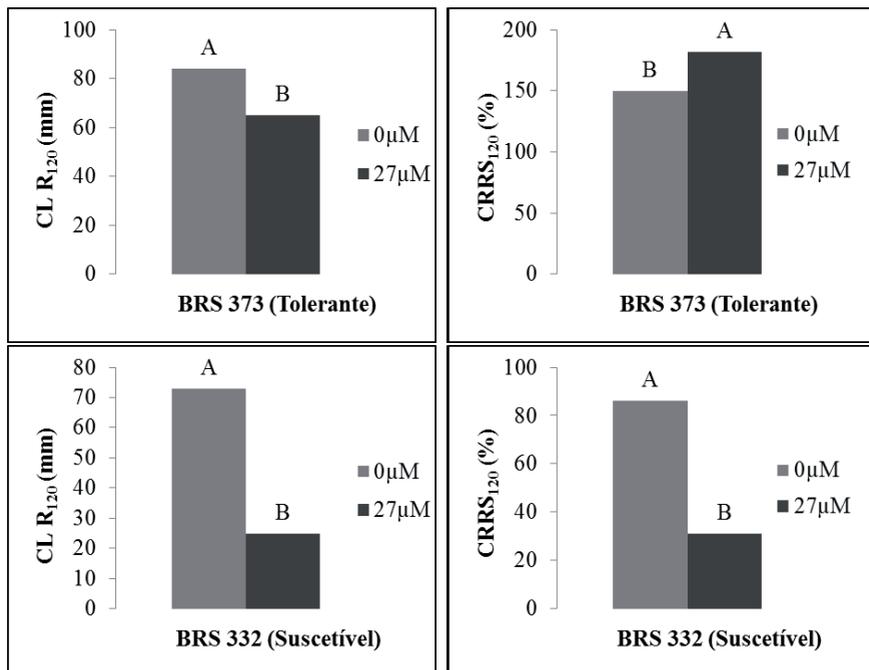


Figura 2. Média de Crescimento Líquido de Raiz e Crescimento Relativo de Raiz Seminal, 120 horas após o estresse de alumínio, em dois níveis de saturação de alumínio (0 e 27 μ M), das duas testemunhas utilizadas no experimento. Empresa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG.

Todas as cultivares apresentaram médias de crescimento menores no ambiente com alta saturação de alumínio em relação ao ambiente sem alumínio, exceto pela testemunha tolerante BRS 373 e o híbrido experimental CMSXS 222x1141570. Infere-se pelos resultados que o alumínio reduz drasticamente o tamanho da raiz seminal, com resposta

diferencial entre as cultivares. O Crescimento Líquido de Raiz, no ambiente sem alumínio, variou de 64 a 156 mm, enquanto no ambiente com alumínio os limites foram mais baixos, com variação de 21 a 87 mm.

O teste de agrupamento de Scott-Knott ($P < 0,05$) foi eficiente na separação das cultivares tolerantes e suscetíveis. Os híbridos comerciais BRS 610 e BRS 655 são tolerantes ao alumínio, enquanto Volumax e SS318 são suscetíveis. Entre os experimentais merecem destaque os híbridos BR007x1141570 e CMSXS157x1141570. Outros cinco híbridos experimentais mostraram tolerância mediana ao alumínio (CMSXS222x1141400, CMSXS222x1141570, CMSXS156x1141400, CMSXS156x1141570 e CMSXS157x1141400). Interessante notar que em todos estes híbridos experimentais com alguma tolerância as linhagens restauradoras 1141400 ou 1141570 estão presentes. Ao que tudo indica o parental 1141570 é tolerante e o 1141400 possui tolerância intermediária, havendo também alguma contribuição dos parentais femininos. A variedade de sorgo sacarino BRS506 é suscetível ao alumínio, enquanto Ponta Negra é moderadamente tolerante. Entre as variedades experimentais, merecem destaque 1141562, 1141572 e 1140562, com alto crescimento de raiz tanto no ambiente com alumínio quanto no ambiente sem alumínio. A variedade 1141126 mostrou-se de tolerância moderada.

Os resultados mostram haver variabilidade dentro do germoplasma de sorgo forrageiro para seleção de cultivares tolerantes ao alumínio, o que pode ser usado para contribuir para a expansão desta cultura em áreas de cerrado.

Estudos realizados por Magalhães et al. (2007), na cultura do sorgo, identificaram o gene Alt_{SB} , que condiciona tolerância ao Al. Este gene é um transportador de ácido orgânico. No caso específico de sorgo, o ácido orgânico transportador é o citrato. O gene pertence à família *Multidrug And Toxic Compound Extrusion (MATE)*, tem sua maior expressividade no ápice das raízes de sorgo, onde há uma maior concentração de ácidos orgânicos, e atua formando uma espécie de barreira que impede que o alumínio tóxico se associe à planta. Deste ponto, conseqüentemente, se origina a tolerância.

O híbrido tolerante BRS 373 possui o gene Alt_{SB} , o qual é oriundo da linhagem SC283, utilizada no estudo de herança da tolerância e no desenvolvimento de marcadores para este gene. Os parentais masculinos dos híbridos comerciais BRS 61 e BRS 655, ambos tolerantes, foram originários de uma população, denominada BRP5BR, na qual a linhagem SC283 (tolerante ao alumínio) é uma das linhagens componentes. Todas as linhagens restauradoras dos híbridos experimentais e as variedades testadas são oriundas de cruzamentos da população BRP5BR com outras linhagens-elites do programa. No avanço das gerações, normalmente pedigree, em algumas das seleções os alelos para tolerância permaneceram e em outras, foram perdidos, o que explica porque alguns híbridos foram tolerantes e outros não.

Como existem marcadores moleculares para o gene Alt_{SB} , é recomendando fazer uma genotipagem nestas linhagens para comprovar que este gene é responsável pela tolerância encontrada nestes genótipos, e assim utilizar o melhoramento molecular para inserir resistência ao Al em híbridos suscetíveis.

Tabela 2. Valores médios de Crescimento Líquido de Raiz Seminal e Crescimento Relativo de Raiz Seminal, 120 horas após o estresse (CRRS₁₂₀), de 32 cultivares de sorgo forrageiro, avaliadas em dois níveis de atividade de alumínio (0 e 27 µM). Sete Lagoas-MG, 2016

Cultivares	CLR ₁₂₀ (mm)		CRRS ₁₂₀ (%)	
	0 µM	27 µM	0 µM	27 µM
CMSXS 222 x 1141400	91,12 d A	68,90 b B	86,04 f A	72,93 d A
CMSXS 222 x 1141570	114,26 c A	80,28 a B	108,46 e A	74,00 d B
CMSXS 222 x 947072	63,86 f A	48,05 c B	70,98 f A	53,70 e A
CMSXS 222 x 0947216	101,86 d A	47,28 c B	106,46 e A	48,12 e B
CMSXS 222 x 0947030	91,29 d A	45,24 c B	98,98 e A	51,29 e B
CMSXS 156 x 1141400	99,52 d A	68,64 b B	87,74 f A	62,31 d B
CMSXS 156 x 1141570	125,89 c A	76,10 a B	108,78 e A	61,32 d B
CMSXS 156 x 947072	70,00 f A	41,41 c B	69,50 f A	39,33 e B
CMSXS 156 x 0947216	93,36 d A	44,14 c B	86,51 f A	40,91 e B
CMSXS 156 x 0947030	81,94 e A	35,71 c B	85,55 f A	38,48 e B
BR 007 x 1141400	124,49 c A	49,01 c B	103,38 e A	40,09 e B
BR 007 x 1141570	147,95 a A	66,54 b B	232,99 a A	112,56 c B
BR 007 x 947072	121,90 c A	23,33 d B	188,26 b A	37,78 e B
BR 007 x 0947216	136,48 b A	25,76 d B	182,88 b A	36,30 e B
BR 007 x 0947030	124,33 c A	22,90 d B	179,43 b A	32,62 e B
CMSXS 157 x 1141400	117,06 c A	68,24 b B	143,96 c A	85,35 d B
CMSXS 157 x 1141570	140,11 b A	75,72 a B	189,74 b A	113,29 c B
CMSXS 157 x 947072	93,52 d A	27,48 d B	153,98 c A	43,89 e B
CMSXS 157 x 0947216	123,71 c A	32,71 d B	180,18 b A	43,40 e B
CMSXS 157 x 0947030	112,78 c A	28,61 d B	173,11 b A	43,12 e B
Volumax	130,62 c A	24,75 d B	181,77 b A	36,04 e B
SS318	122,19 c A	20,62 d B	210,97 a A	35,07 e B
BRS 655	133,82 b A	87,43 a B	224,93 a A	143,54 b B
BRS 610	97,33 d A	70,67 b B	172,98 b A	122,05 b B
Ponta Negra	117,44 c A	33,63 d B	221,43 a A	67,13 d B
BRS 506	78,95 e A	25,45 d B	140,84 d A	44,82 e B
1141126	68,76 f A	35,99 c B	101,97 e A	58,00 d B
1141562	135,29 b A	67,76 b B	192,49 b A	99,99 c B
1141572	155,76 a A	84,77 a B	230,82 a A	125,87 b B
1140562	119,14 c A	71,45 b B	189,62 b A	125,46 b B
BRS 332	73,04 f A	25,00 d B	86,16 f A	31,23 e B
BRS 373	83,56 e A	64,82 b B	149,97 c B	181,56 a A

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott.

Conclusões

O alumínio é tóxico para as plantas de sorgo, reduzindo o crescimento radicular significativamente.

Os híbridos comerciais BRS 610 e BRS 655, os híbridos experimentais BR007x1141570 e CMSXS157x1141570, e as variedades experimentais 1141562, 1141572 e 1140562 mostraram-se tolerantes ao alumínio, com redução mínima no crescimento de raiz seminal.

Os híbridos comerciais Volumax e SS318 são suscetíveis ao alumínio, apresentando reduzido crescimento de raiz em condições de estresse.

A variedade de sorgo sacarino BRS 506 é suscetível ao alumínio e a variedade Ponta Negra apresenta resistência intermediária.

Agradecimentos

À Embrapa Milho e Sorgo, à Fapemig e ao CNPq, pelo apoio financeiro na realização e divulgação dos resultados.

Referências

CANIATO, F. F.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; ALVES, V. M. C.; KOCHIAN, L. V.; BOREM, A.; KLEIN, P. E.; MAGALHAES, J. V. Genetic diversity for aluminum tolerance in sorghum. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 114, n. 5, p. 836-876, 2007.

CANIATO, F. F.; HAMBLIN, M. T.; GUIMARÃES, C. T.; ZHANG, Z.; SCHAFFERT, R. E.; KOCHIAN, L. V.; MAGALHÃES, J. V. Association mapping provides insights into the origin and the fine structure of the sorghum aluminum tolerance locus, *AltSB*. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2014.

CLARK, R. B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v. 23, p. 458-460, 1975.

CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

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

KOCHIAN, L. V.; HOEKENGA, O. A.; PINEROS, M. A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 55, p. 459-493, 2004.

MAGALHÃES, J. V. de; LIU, J.; GUIMARÃES, C. T.; LANA, U. G. de P.; ALVES, V. M. C.; WANG, Y.-H.; SCHAFFERT, R. E.; HOEKENGA, O. A.; PINEROS, M. A.; SHAFF, J. E.; KLEIN, P. E.; CARNEIRO, N. P.; COELHO, C. M.; TRICK, H. N.; KOCHIAN, L. V. A gene in the multidrug and toxic compound extrusion (MATE) family confers aluminum tolerance in sorghum. **Nature Genetics**, New York, v. 39, n. 9, p. 1156-1161, 2007.

MAGNAVACA, R.; BAHIA FILHO, A. F. C. **Seleção de milho para tolerância ao alumínio**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1991. 30 p. Apostila.

MAGNAVACA, R.; GARDNER, C. O.; CLARK, R. B. Evaluation of inbred maize lines for aluminum tolerance in nutrient solution. In: GABELMAN, W. H.; LOUGHMAN, B. C. **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1987. p. 255-265. (Developments in Plant and Soil Sciences, 27).

MENEZES, C. B.; CARVALHO JÚNIOR, G. A.; SILVA, L. A.; BERNARDINO, K. C.; MAGALHÃES, J. V.; GUIMARÃES, C. T.; GUIMARÃES, L. J. M.; SCHAFFERT, R. E. Selection of sorghum hybrids grown under aluminum saturation. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 13, n. 3, p. 5964-5973, 2014.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F.T.; ROCHA, W. S. D. da; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A. de; OLIVEIRA, A. V. de. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, Juiz de Fora, v. 24, p. 13-29, 2010.

PARRELLA, R. A. da C.; MENEZES, C. B. de; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; PARRELLA, N. N. L. D.; SCHAFFERT, R. E. Cultivares. In: BORÉM, A.; PIMENTEL, L. D.; PARRELLA, R. A. da C. (Ed.). **Sorgo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2014. cap. 7, p. 169-187.

RODRIGUES, J. A. S. Híbridos de sorgo forrageiro: onde estamos? Para onde vamos? In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO

ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 7; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 5., 2014, Viçosa. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2014. p. 301-328.

RODRIGUES, J. A. S.; MENEZES, C. B. de; MACHADO, J. R. de A.; TABOSA, J. N.; SIMPLICIO, J. B. Manejo cultural. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 8, p. 123-139. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

SANTOS, F. G.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. Melhoramento de sorgo. In: BORÉM, A. (Org.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 429-466.

SCHAFFERT, R. E.; SILVA, L. A.; ALVES, V. M. C.; CARVALHO, G. A.; MAGALHÃES, J. V. D. The effect of the AltSB gene on root growth in nutrient solution of isogenic sorghum hybrids. In: INTERNATIONAL PLANT NUTRITION COLLOQUIUM, 16., 2009, Sacramento, California. **Proceedings...** Davis: University of California, 2009.

SILVA, L. A. **Validação do efeito do gene Alt_{SB} que controla a tolerância ao alumínio em sorgo**. 2008. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

