

NOVA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA REAÇÃO DE GENÓTIPOS DE CAPIM-COLONIÃO AO ALUMÍNIO¹

ANTONIO CARLOS DE OLIVEIRA², JOSÉ ALFREDO USBERTI FILHO³ e WALTER JOSÉ SIQUEIRA⁴

RESUMO - Foi definida nova metodologia de avaliação de genótipos quanto à reação ao alumínio (Al^{3+}), presente em soluções nutritivas, através da associação de análises de componentes principais e de estabilidade/adaptabilidade fenotípicas. Os experimentos foram instalados em delineamentos de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições e conduzidos em casa de vegetação da Seção de Genética – Centro Experimental de Campinas/IAC, no período de 1995 a 1997. Em diferentes genótipos de capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.) foram avaliados caracteres de sistema radicular e de parte aérea, sob três concentrações de Al^{3+} (zero, 12 e 24 mg/L) e três períodos de permanência em solução (15, 30 e 45 dias). Reduções percentuais, causadas pela presença do Al^{3+} , foram calculadas para cada caráter analisado e, a partir delas, efetuadas as análises acima citadas. Considerável precisão foi observada na diferenciação dos genótipos quanto ao estresse, sugerindo o seu emprego em programas de melhoramento genético.

Termos para indexação: *Panicum maximum*, híbridos, solução nutritiva, fenótipos, estabilidade, adaptabilidade fenotípica, análise multivariada, métodos de melhoramento.

NEW METHODOLOGY OF ALUMINUM RESISTANCE EVALUATION IN GUINEA GRASS

ABSTRACT - A new methodology of genotype screening as to aluminum (Al^{3+}) reaction has been proposed, based on the association of principal component and stability/adaptability analyses. Experimental trials, using nutritive solutions, have been carried out in randomized complete block designs (split-plot type), with three replications, at Genetics Department in Instituto Agronômico, Campinas, SP, Brazil, from 1995 to 1997. Root system and plant traits have been evaluated in several guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.) genotypes under three Al^{3+} concentrations (zero, 12 and 24 mg/L), during three time periods (15, 30 and 45 days). Percentual reductions, due to the presence of Al^{3+} , have been calculated for each character and analyses performed on them. A good precision has been achieved in genotype differentiation, strongly suggesting the use of the new methodology in plant breeding programs.

Index terms: *Panicum maximum*, hybrids, nutrient solutions, phenotypes, stability, phenotypic adaptability, multivariate analyses, breeding methods.

¹ Aceito para publicação em 11 de janeiro de 2000.

Extraído da dissertação de mestrado do primeiro autor, apresentada à Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Projeto auxiliado pela FAPESP.

² Biól., M.Sc., doutorando, Dep. de Genética e Evolução, Unicamp, Caixa Postal 6109, CEP 13081-970 Campinas, SP. E-mail: ancaol@zipmail.com.br

³ Eng. Agrôn., Ph.D., Centro de Genética, Biologia Molecular e Fitoquímica, Instituto Agronômico (IAC), Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas, SP. Bolsista do CNPq. E-mail: usberti@cec.iac.br

⁴ Eng. Agrôn., Dr., IAC. E-mail: walter@mandic.com.br

INTRODUÇÃO

A toxicidade do alumínio é o principal fator limitante ao estabelecimento de diferentes culturas em solos ácidos (Foy, 1984). No Brasil, a nova fronteira agrícola está localizada, principalmente, em solos de Cerrados, possuidores de elevados teores do elemento. A neutralização do Al^{3+} , por meio do emprego de corretivos em larga escala, é, na maioria dos casos, economicamente inviável pelo custo da aquisição e transporte.

Dessa maneira, a seleção de genótipos resistentes ao Al^{3+} , em diversas espécies vegetais, é a alternativa mais racional e barata para a solução do problema (Lafever, 1981; Foy, 1983).

Diferentes genótipos podem comportar-se de maneira distinta quanto à reação ao Al^{3+} , tanto no campo como em vasos ou em soluções nutritivas. Tal comportamento diferencial pode ocorrer entre gêneros (McCormick & Steiner, 1978), entre espécies (McLean & Gilbert, 1927; Nowak & Friend, 1995), e mesmo entre indivíduos da mesma espécie (Hernani, 1980; Bastos, 1981; Camargo & Oliveira, 1981; Furlani & Clark, 1981; Sivaguru & Paliwal, 1993).

Os métodos atuais de avaliação de resistência/tolerância ao Al^{3+} , relatados na literatura, baseiam-se em comparações entre genótipos, ou entre genótipos e controles previamente escolhidos. Em ambos os casos, o efeito do Al^{3+} não é isolado, sendo os resultados mascarados pelo componente genético de cada material em estudo. Assim, uma metodologia eficiente e racional deveria, em primeiro lugar, isolar o efeito do Al^{3+} e, em seguida, mediante análises adequadas, promover a discriminação confiável dos genótipos quanto à reação ao estresse.

Em capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.), importante gramínea forrageira tropical, amplamente utilizada no Brasil, são raros os estudos sobre o comportamento de genótipos em presença do Al^{3+} . Podem ser citadas avaliações de acessos (Thomas & Lapointe, 1989) e a obtenção de linhagens tolerantes (Hutton, 1989).

Este trabalho descreve a associação de análises multivariada e de estabilidade e adaptabilidade fenotípicas como um método inédito e eficiente de classificação da reação de genótipos ao estresse Al^{3+} , sem o emprego de controles comparativos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados 15 híbridos F_1 apomíticos e três cultivares comerciais de capim-colonião, cujas genealogias são apresentadas na Tabela 1.

As plântulas de cada genótipo foram obtidas da germinação de sementes em caixas de semeadura e transferidas para as soluções nutritivas no estágio de 3-4 folhas.

Utilizaram-se caixas de plástico de 53 x 43 cm e profundidade de 12 cm, com capacidade de 13 litros de solução nutritiva. As plântulas foram dispostas nessas caixas

TABELA 1. Genealogia dos híbridos F_1 apomíticos e cultivares de capim-colonião avaliados.

Híbrido/cultivar	Genealogia ¹
H10	LST-1x SEA-2
H12	LST-1 x SEA-2
H13	LST-1 x cv. IAC-Tobiatã
H21	LST-2 x PI-277915
H31	LST-2 x coloniã "Dr. Schanks"
H33	LST-2x coloniã "Dr. Schanks"
H38	LST-2 x cv. Aruana
H42	LST-2 x cv. Aruana
H54	LST-2 x cv. IAC-Centauro
H55	LST-2 x K-68
H56	LST-2 x K-68
H22	LST-2 x Híbrido-30
H64	LSC-1 x Híbrido-30
H79	LSC-2 x K-68
H140	LSC-7 x cv. Aruana
IAC-Centauro	LS40 x cv. Katerere
IAC-Centenário	LS28 x cv. Angola
IAC-Tobiatã	linhagem K-187

¹ LST-1: linhagem sexual Tobiatã-1; LST-2: linhagem sexual Tobiatã-2; LSC-1: linhagem sexual Centauro-1; LSC-2: linhagem sexual Centauro-2; LSC-7: linhagem sexual Centauro-7; LS40: linhagem sexual nº 40; LS28: linhagem sexual nº 28.

em placas de isopor de 2,5 cm de espessura, perfuradas em 60 pontos, equidistantes. Cada orifício da placa foi tampado por um disco de espuma com uma cavidade central, através da qual eram colocadas as plântulas, de modo que os sistemas radiculares alcançassem a solução nutritiva.

As soluções nutritivas foram aeradas, ininterruptamente, por períodos de quatro horas, intercalados por um período de duas horas, sem aeração.

A solução nutritiva padrão empregada foi semelhante à definida por Furlani & Clark (1981), cuja composição é apresentada na Tabela 2.

Foram utilizadas três concentrações de Al^{3+} (zero, 12 e 24 mg/L), as duas últimas adicionadas à solução nutritiva sob a forma de sulfato de alumínio-potássico dodecaidratado $[AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O]$.

As soluções nutritivas foram preparadas com água destilada estéril, seus pH's ajustados, inicialmente, para 4,0 (adição de HCl 1N) e monitorados, periodicamente, durante o experimento, sendo trocadas semanalmente.

Durante a transferência das plântulas, foi medido o comprimento inicial de raiz (CIR, em cm), tomado do colo da plântula à extremidade da raiz. Decorridos 15, 30 e 45 dias de permanência nas soluções nutritivas, as plântulas foram avaliadas quanto às seguintes características: a) altura de plântula (AP, em cm): medida do colo da plântula à extremidade da folha mais alta; b) comprimento de lâmina

TABELA 2. Composição das soluções-estoque e da solução nutritiva empregada¹.

Nº	Sal	Solução-estoque		Solução nutritiva			
		Quantidade (g/L)	Quant. adicion. à sol. nutritiva (mL/L)	Cátion	(mg/L)	Ânion	(mg/L)
1	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	270,0	0,61	Ca	28,20	NO ₃ -N	19,76
	NH ₄ NO ₃	33,8		NH ₄ -N	3,40	NO ₃ -N	3,40
2	KCl	18,6	0,46	K	4,44	Cl	4,02
	KNO ₃	24,6		K	4,07	NO ₃ -N	1,47
	K ₂ SO ₄	44,0		K	8,29	SO ₄ -S	3,44
3	Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	142,4	0,31	Mg	4,19	NO ₃ -N	4,85
4	KH ₂ PO ₄	17,6	0,05	K	0,25	H ₂ PO ₄ -P	0,20
5	FeSO ₄ .7H ₂ O	24,9	0,15	Fe	1,34	SO ₄ -S	0,78
	Na ₂ EDTA	29,6		Na	0,54	EDTA	3,89
6	MnCl ₂ .4H ₂ O	2,34	0,15	Mn	0,09	Cl ₂	0,12
	H ₃ BO ₃	2,04				BO ₃ -B	0,05
	CuSO ₄ .5H ₂ O	0,20		Cu	0,007	SO ₄ -S	0,0036
	ZnSO ₄ .H ₂ O	0,88		Zn	0,03	SO ₄ -S	0,014
	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,26		Na	0,0074	MoO ₄ -Mo	0,015

¹ Composição final (mg/L): 28,2 de Ca; 17,05 de K; 4,19 de Mg; 29,48 de NO₃-N; 3,4 de NH₄-N; 3,9 de S; 0,2 de P; 0,75 de Fe; 4,2 de Cl; 0,09 de Mn; 0,05 de B; 0,007 de Cu; 0,03 de Zn; 0,54 de Na; 4,44 de EDTA; 0,015 de Mo; e adição de AlK(SO₄)₂.12H₂O (PM = 474,38) para obter as concentrações de 12 e 24 mg/L de Al³⁺.

foliar (CLF, em cm): medida da base ao ápice da maior folha; c) comprimento total de raiz (CTR, em cm): medida do colo da plântula à extremidade da raiz; d) comprimento líquido de raiz (CLR, em cm): calculado pela subtração do CIR do valor do CTR; e) reduções percentuais de altura de plântula e de comprimento líquido de raiz (RPAP e RPCLR) (isolamento do efeito do Al³⁺) calculadas através da fórmula seguinte:

$$RP = 1 - \frac{\overline{X}_{p,Al^{3+}}}{\overline{X}_{a,Al^{3+}}} \cdot 100, \text{ onde:}$$

RP: redução porcentual da característica; $\overline{X}_{p,Al^{3+}}$: média estimada da característica, em presença de Al³⁺; $\overline{X}_{a,Al^{3+}}$: média estimada da característica, na ausência de Al³⁺.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições. As concentrações de Al³⁺ foram alocadas na parcela e os genótipos na subparcela, dispostos aleatoriamente dentro de cada nível de Al³⁺. Adotou-se o teste de Duncan (P = 0,05) para a comparação entre médias. Dados percentuais das relações quantitativas RPAP e RPCLR foram transformados em arco seno $\sqrt{\%}$ (Steel & Torrie, 1980), previamente à execução da análise de variância e do teste de comparação de médias. A análise de variância e os testes de médias das outras características avaliadas foram realizados com os dados originais.

Foi realizada análise de componentes principais (ACP) dos dados para a diferenciação dos genótipos quanto à

reação à toxidez de Al³⁺, empregando-se as características e relações quantitativas citadas anteriormente. Considerando-se as três concentrações de Al³⁺ empregadas como ambientes distintos, avaliaram-se a estabilidade e a adaptabilidade dos híbridos/cultivares frente ao estresse, com base em médias do caráter AP, utilizando-se o modelo genético-estatístico de Eberhart & Russell (1966).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A combinação de fatores (período de permanência em solução e concentração de Al³⁺) que melhor discriminou os materiais genéticos em estudo foi a de 45 dias e de 24 mg/L. Diferenças altamente significativas foram observadas tanto entre os genótipos (dentro de cada concentração de Al³⁺) como entre as concentrações (para cada genótipo) com respeito às características de parte aérea e de sistema radicular e as reduções percentuais (Tabelas 3 e 4).

Reduções significativas de AP foram detectadas em todos os genótipos, sem exceção, quando comparados os resultados obtidos a zero e 24 mg/L de Al³⁺. O mesmo ocorreu quanto à característica CLF, com exceção dos híbridos H12 e H13. Elevada amplitude de variação foi observada para a relação RPAP (de 17,26%, para o híbrido H13, até 72,35%, para a

TABELA 3. Resultados médios obtidos para os caracteres altura de plântula (AP), comprimento de lâmina foliar (CLF) e redução porcentual de altura de plântula (RPAP) em 15 híbridos e três cultivares de capim-colonião, submetidos às concentrações de zero e 24 mg/L de Al³⁺, em soluções nutritivas, avaliados aos 45 dias¹.

Híbrido/cultivar	AP (cm)		CLF (cm)		RPAP ²
	0 mg/L	24 mg/L	0 mg/L	24 mg/L	(%)
H10	22,49cdeA	8,84efgB	15,86defA	6,30fghB	60,22defg
H12	21,97cdeA	15,62bcB	13,76fgA	11,54bcA	29,29ab
H13	19,47efA	16,13bB	13,73fgA	12,03abA	17,26a
H21	22,29cdeA	10,64deB	16,19cdefA	8,00cbB	59,96cdef
H22	13,91hA	6,20ghB	11,01hiA	4,43hB	55,52cdefg
H31	15,20ghA	5,33hB	11,88ghA	4,05hB	64,84efg
H33	14,65hA	8,44efghB	9,36iA	6,53fghB	42,15bcd
H38	20,12defA	10,14defB	14,86efA	8,64defB	48,90cde
H42	18,04fgA	10,18defB	18,71abcA	7,74efB	43,41bcd
H54	26,67aA	19,23aB	20,52aA	14,28aB	27,99ab
H55	24,12abcA	9,93defB	17,05bcdeA	7,31efgB	58,70cdefg
H56	24,26abcA	12,60cdB	18,49abcA	9,17cdeB	48,04cde
H64	23,04bcdA	12,88cdB	17,82bcdA	9,55cdeB	44,04bcd
H79	25,80abA	20,66aB	18,90abA	2,43abB	18,90a
H140	22,51cdeA	6,91fghB	18,95abA	5,18ghB	69,31fg
IAC-Centauro	21,84cdeA	6,08ghB	15,34defA	5,06ghiB	72,35g
IAC-Centenário	20,55defA	14,68bcB	14,31fgA	10,73bcdB	28,48ab
IAC-Tobiatã	20,69defA	11,42deB	15,82defA	8,52efgB	40,28bc
Média	20,98 A	11,43 B	15,70 A	8,42 B	46,04

¹ Médias, seguidas de letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, e de letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre si, a P = 0,05, de acordo com o teste de Duncan; coeficiente de variação de AP, CLF e RPAP igual a 11,20, 11,84 e 14,04%, respectivamente.

² Dados transformados em arc sen √%. .

TABELA 4. Resultados médios obtidos para os caracteres comprimento total (CTR) e líquido de raiz (CLR) e redução porcentual de comprimento líquido de raiz (RPCLR) em 15 híbridos e três cultivares de capim-colonião, submetidos às concentrações de zero e 24 mg/L de Al³⁺, em soluções nutritivas, avaliados aos 45 dias¹.

Híbrido/cultivar	CTR (cm)		CLR (cm)		RPCLR ²
	0 mg/L	24 mg/L	0 mg/L	24 mg/L	(%)
H10	30,23hA	11,67ghB	25,05gA	6,39fgB	74,68de
H12	30,60ghA	20,93cdeB	25,50fgA	15,92cdB	37,42a
H13	36,66defA	17,93efB	31,40cdeA	12,62deB	59,56bc
H21	55,29aA	15,98fgB	49,09aA	9,63efB	80,10e
H22	24,87iA	9,33hiB	18,71hA	3,12ghB	83,19ef
H31	23,27iA	10,95hB	17,54hA	5,14fghB	69,82cde
H33	23,74iA	7,48hiB	17,71hA	1,46ghB	91,84fg
H38	51,23abA	23,48bcdB	45,44abA	17,47bcdB	61,01cd
H42	37,11cdefA	19,11defB	31,32cdeA	13,80deB	55,90bc
H54	33,24fghA	21,71cdeB	27,01efgA	15,02cdB	44,38ab
H55	35,45defgA	23,48bcdB	29,08defgA	17,37bcdB	39,82a
H56	41,91cA	27,57abB	36,11cA	21,88abB	39,30a
H64	47,48bA	30,85aB	41,68bA	25,12aB	39,87a
H79	39,86cdA	24,15bcB	32,94cdA	17,70bcdB	44,71ab
H140	39,70cdeA	8,20hiB	33,75cdA	2,60ghB	92,31fg
IAC-Centauro	34,72efghA	4,59iB	28,95defgA	0,95hB	97,02g
IAC-Centenário	37,21cdefA	25,47bcB	30,66defA	19,22bcB	37,19a
IAC-Tobiatã	34,09fghA	10,18hB	27,31efgA	3,56ghB	81,59e
Média	36,48A	17,39B	30,51A	11,61B	62,76

¹ Médias, seguidas de letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, e de letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre si, a P = 0,05, de acordo com o teste de Duncan; coeficiente de variação de CTR, CLR e RPCLR igual a 10,68, 14,70 e 9,31%, respectivamente.

² Dados transformados em arc sen √%. .

cultivar IAC-Centauro), confirmando a existência de comportamento diferencial da parte aérea dos genótipos quanto ao efeito prejudicial do Al^{3+} .

Também neste caso foram detectadas reduções significativas de CTR e CLR em todos os híbridos e cultivares em teste, quando comparados os resultados obtidos a zero e 24 mg/L de Al^{3+} . Quanto à relação RPCLR, sobressaíram-se os híbridos H12, H54, H55, H64, H79 e a cultivar IAC-Centenário. A amplitude de variação foi também elevada (de 37,19%, para a cultivar IAC-Centenário, até 97,02%, para a cultivar IAC-Centauro).

A análise de componentes principais, realizada nas seis características descritas (AP, CLF, RPAP, CTR, CLR e RPCLR), originou um diagrama de dispersão, apresentado na Fig. 1. O eixo x do mesmo abrangeu 79,2% da variância total disponível enquanto o eixo y foi responsável por 16,7% da variabilidade estimada; assim, a variância total, expressa no diagrama, atingiu um alto

nível (95,9%), proporcionando uma excelente representatividade dos genótipos em estudo (Cruz & Regazzi, 1994).

Com base no diagrama de dispersão, quatro classes de reação ao Al^{3+} puderam ser identificadas (localização de um dado genótipo quanto às relações RPAP e RPCLR): a) resistência: baixas RAP e RPCLR (híbridos H12, H13, H54, H79 e cultivar IAC-Centenário); b) tolerância: baixa RPAP e alta RPCLR (híbrido H33 e cultivar IAC-Tobiatã); c) sensibilidade: alta RPAP e baixa RPCLR (híbridos H38, H42, H55, H56 e H64); d) suscetibilidade: altas RPAP e RPCLR (híbridos H10, H21, H22, H31, H140 e cultivar IAC-Centauro).

As classificações das cultivares IAC-Centauro e IAC-Centenário, obtidas neste trabalho (suscetível e resistente, respectivamente), são idênticas às reações ao Al^{3+} já determinadas anteriormente para as mesmas cultivares. Já a classificação obtida para o

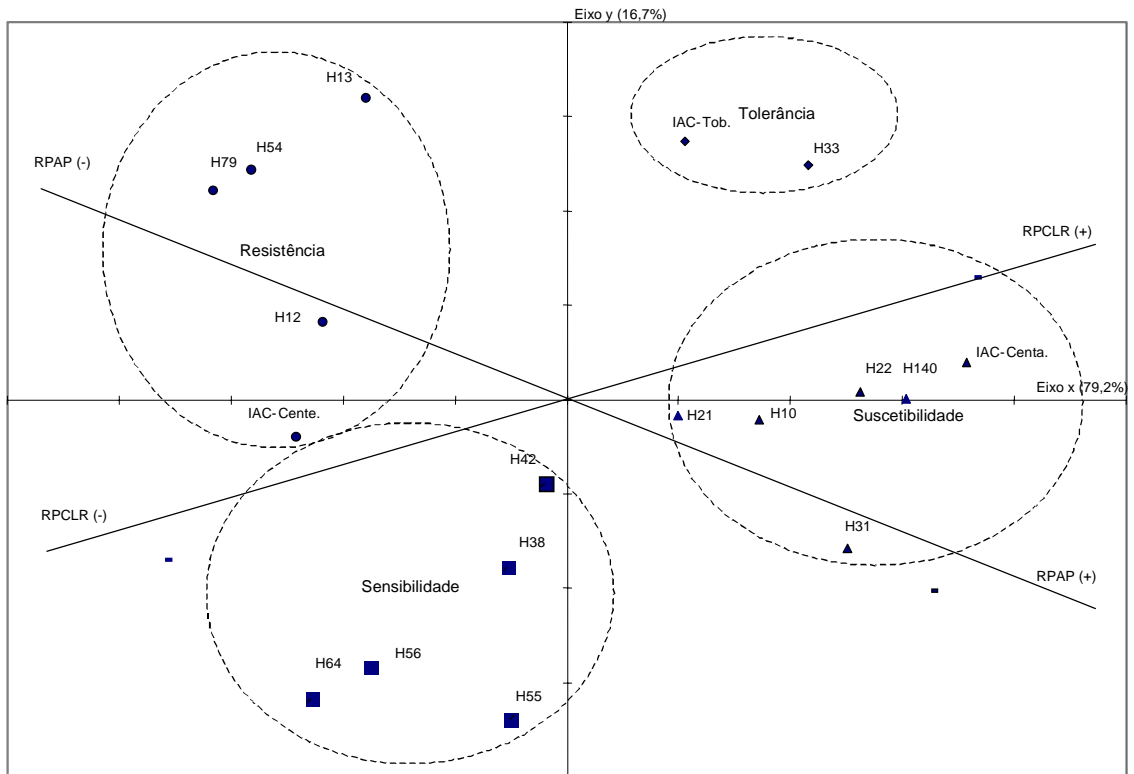


FIG. 1. Diagrama de dispersão e classificação de reação ao alumínio de 15 híbridos e três cultivares de capim-colonião. RPAP: redução porcentual de altura de plântula; RPCLR: redução porcentual de comprimento líquido de raiz.

IAC-Tobiatã (tolerante) diverge da obtida anteriormente (moderadamente resistente). A razão parece ser que, na presente pesquisa, os materiais genéticos foram classificados com base em análise conjunta de reduções percentuais de características de parte aérea e de sistema radicular, muito mais precisa do que a análise anterior apenas do crescimento radicular frente ao Al^{3+} . Para confirmar ou não a classificação estudada, foi realizada análise fatorial discriminante (AFD). Esta detectou que os genótipos, sugeridos como pertencentes às quatro classes de reação ao Al, foram agrupados com 94,3% de acerto.

O sistema proposto para classificação de reação frente ao estresse de Al^{3+} é inédito em capim-colonião e mesmo em outras espécies de elevado potencial econômico. Baseado no isolamento do efeito do Al^{3+} em características de parte aérea e do sistema radicular, em solução nutritiva, seguido de análise de componentes principais, é extremamente importante para o melhoramento genético da espécie, além

de ser muito útil na tomada de decisões quanto ao correto manejo de pastagens melhoradas.

Além disso, considerando-se cada uma das concentrações de Al^{3+} empregadas como um ambiente distinto, procedeu-se a análise de estabilidade e adaptabilidade fenotípicas (modelo de Eberhart & Russell, 1996) para a característica altura de planta (AP), bom indicador do potencial forrageiro dos materiais genéticos em estudo. O modelo citado é o mais adequado quando da ocorrência de reduzido número de ambientes em avaliação (Vencovsky & Barriga, 1992).

Os coeficientes de regressão linear (β_{1i} 's), que são estimativas de resposta de cada genótipo às variações ambientais (Vencovsky & Barriga, 1992), diferenciaram os materiais genéticos quanto à reação ao Al^{3+} , com amplitude de variação de 0,3354 (H13) até 1,6515 (IAC-Centauro) (Tabela 5). Quando β_{1i} é estatisticamente menor que 1,0 (híbridos H12, H13, H33, H79 e cultivar IAC-Centenário) existem fortes indícios de ocorrência de baixa sensibilidade às alterações ambientais presentes, isto é, maior adaptação

TABELA 5. Estimativas de parâmetros de estabilidade e adaptabilidade fenotípicas para o caráter altura de plântula de híbridos e cultivares de capim-colonião, submetidos a três ambientes (concentrações de zero, 12 e 24 mg/L de Al^{3+} , em solução nutritiva), por 45 dias¹.

Híbrido/cultivar	β_{0i}	β_{1i}	σ_{di}^2	R_i^2 (%)
H12	17,78	0,6968*	2,9185 ^{ns}	84,88
H13	18,07	0,3354**	0,2081 ^{ns}	85,83
H33	11,17	0,6576*	0,8704 ^{ns}	99,04
H79	23,70	0,5252**	0,5020 ^{ns}	89,03
IAC-Centenário	17,78	0,6018*	0,3531 ^{ns}	95,91
H55	16,91	1,4743**	0,4206 ^{ns}	99,36
IAC-Centauro	13,47	1,6515**	1,0631 ^{ns}	99,50
H21	15,54	1,2423 ^{ns}	0,8141 ^{ns}	97,42
H22	9,86	0,8060 ^{ns}	1,0486 ^{ns}	99,51
H31	10,82	1,0013 ^{ns}	3,3168*	91,33
H38	13,93	1,0798 ^{ns}	3,6255*	91,97
H42	14,33	0,8059 ^{ns}	0,2046 ^{ns}	95,93
H54	23,35	0,7552 ^{ns}	1,3365 ^{ns}	91,62
H56	17,59	1,2400 ^{ns}	0,2691 ^{ns}	98,15
H64	16,87	1,0941 ^{ns}	2,4554 ^{ns}	94,00
IAC-Tobiatã	16,00	0,9625 ^{ns}	0,7472 ^{ns}	99,26
H10	14,15	1,4720**	5,9534*	93,43
H140	15,20	1,5972**	4,6059*	95,39

¹ β_{0i} : média referente aos três ambientes (concentrações de zero, 12 e 24 mg/L de Al^{3+}); média geral: 15,91; R_i^2 : coeficiente de determinação.

^{ns}, * e ** Não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t (Student) para o coeficiente de regressão linear (β_{1i}) e pelo teste F para as variâncias dos desvios da regressão (σ_{di}^2).

a altas concentrações de Al^{3+} (Moda-Cirino, 1984). Siqueira (1997) enfatiza que, na seleção entre genótipos, devem ser escolhidos aqueles com maiores médias fenotípicas nos ambientes desfavoráveis (H12, H13, H79 e cultivar IAC-Centenário, Tabela 3). Por outro lado, os materiais genéticos com β_{ii} 's estatisticamente maiores que 1,0 são altamente afetados pela presença de concentrações crescentes de Al (baixa adaptabilidade) (H10, H55, H140, cultivar IAC-Centauro). Finalmente, aqueles apresentando β_{ii} 's estatisticamente iguais a 1,0 apresentam moderada capacidade de adaptação às condições ambientais vigentes, variável de acordo com o genótipo considerado.

Para os desvios de regressão linear (σ_{di}^2 's), que estimam a previsibilidade de resposta dos materiais genéticos ao estresse, a grande maioria dos híbridos/cultivares em estudo revelou elevada previsibilidade de resposta quando da alteração das concentrações de Al^{3+} (σ_{di}^2 's estatisticamente iguais a zero). Apenas alguns deles (H10, H31, H38 e H140) mostraram comportamento instável frente ao estresse (σ_{di}^2 's estatisticamente maiores que zero).

Finalmente, os coeficientes de determinação (R_i^2 's) estimados, variando de 84,88% a 99,51%, atestam a elevada confiabilidade dos resultados obtidos.

Assim, os materiais genéticos puderam ser classificados em cinco grupos distintos, a saber: a) altas adaptabilidade e previsibilidade de resposta: H12, H13, H33, H79 e cultivar IAC-Centenário; b) moderada adaptabilidade e elevada previsibilidade de resposta: H21, H22, H42, H54, H56, H64 e cultivar IAC-Tobiatã; c) moderada adaptabilidade e baixa previsibilidade de resposta: H31 e H38; d) baixa adaptabilidade e elevada previsibilidade de resposta: H55 e cultivar IAC-Centauro; e) baixas adaptabilidade e previsibilidade de resposta: H10 e H140.

Comparando-se a classificação obtida através de análise de componentes principais com a previsibilidade de resposta ao estresse, observa-se que todos os materiais resistentes (H12, H13, H54, H79 e cultivar IAC-Centenário) e tolerantes (H33 e cultivar IAC-Tobiatã) apresentaram elevada previsibilidade de resposta; no grupo dos sensíveis, quatro dos cinco híbridos (80%) – H42, H55, H56 e H64 – tiveram resposta previsível, o mesmo ocorrendo, no grupo dos suscetíveis, para três dos seis

genótipos (50%) – H21, H22 e cultivar IAC-Centauro. Considerando-se a elevada variabilidade presente, entre os híbridos em estudo, para diversos caracteres morfofisiológicos e mesmo para características de qualidade de sementes (Paterniani, 1996), pode-se concluir que o conjunto de metodologias empregado apresenta elevada chance de sucesso na discriminação de genótipos quanto à reação ao Al^{3+} , o que sugere o seu emprego em programas de melhoramento genético voltados à resistência/tolerância ao estresse.

O emprego da associação de análises multivariada e de estabilidade e adaptabilidade fenotípicas como método de avaliação de genótipos quanto à reação diferencial ao Al^{3+} é inédito. Entretanto, análises de estabilidade e adaptabilidade fenotípicas (Hernani, 1980; Moda-Cirino, 1984) ou de análise multivariada (Braccini et al., 1998) já foram utilizadas, isoladamente, com o mesmo objetivo.

CONCLUSÕES

1. A metodologia desenvolvida é eficiente e confiável como sistema de classificação de reação de genótipos ao estresse de alumínio.
2. A metodologia é também aplicável em experimentação de campo com o capim-colonião bem como com outras espécies vegetais, tanto em relação ao estresse de alumínio como de outros agentes estressantes.

REFERÊNCIAS

- BASTOS, C.R. **Toxicity of aluminum in nutrient solution of sorghum seedlings**. Starkville : Mississippi State University, 1981. 57p. M.Sc. Thesis.
- BRACCINI, M.C.L.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G.; SAMPAIO, N.F.; SILVA, E.A.M. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao alumínio em solução nutritiva. I. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, n.3, p.435-442, 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.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa : UFV, 1994. 390p.
- EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v.6, n.1, p.36-40, 1966.
- FOY, C.D. Physiological effects of hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soil. In: ADAMS, F. (Ed.). **Soil acidity and liming**. Madison : American Society of Agronomy, 1984. p.57-97.
- FOY, C.D. Plant adaptation to mineral stress in problem soils. **Iowa State Journal of Research**, Ames, v.57, n.3, p.339-354, 1983.
- FURLANI, P.R.; CLARK, R.B. Screening sorghum for aluminum tolerance in nutrient solution. **Agronomy Journal**, Madison, v.73, n.4, p.587-594, 1981.
- HERNANI, L.C. **Metodologia de seleção de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao alumínio em solução nutritiva**. Piracicaba : ESALQ, 1980. 81p. Dissertação de Mestrado.
- HUTTON, E.M. Breeding acid-soil tolerant lines of the tropical grass *Panicum maximum* Jacq. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 16., Nice, 1989. **Proceedings**. Nice : Association Française pour la Production Fourragère, 1989. p.355-356.
- LAFEVER, H.N. Genetic differences in plant responses to soil nutrient stress. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.4, n.1, p.89-109, 1981.
- MCCORMICK, L.H.; STEINER, K.C. Variation in aluminum tolerance among six genera of trees: toxicity, surface mine revegetation. **Forest Science**, Bethesda, v.24, n.4, p.565-568, 1978.
- MCLEAN, F.T.; GILBERT, B.E. The relative aluminum tolerance of crop plants. **Soil Science**, Baltimore, v.24, n.2, p.163-176, 1927.
- MODA-CIRINO, V. **Reação de genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.) de sequeiro ao alumínio em solução nutritiva**. Piracicaba : ESALQ, 1984. 162p. Dissertação de Mestrado.
- NOWAK, J.; FRIEND, A.L. Aluminum sensitivity of loblolly pine and slash pine seedlings grown in solution culture. **Tree Physiology**, Victoria, v.15, n.9, p.605-609, 1995.
- PATERNIANI, R.S. **Avaliação de caracteres morfológicos, de qualidade de sementes e suas correlações em híbridos inéditos de *Panicum maximum* Jacq.** Campinas : Unicamp, 1996. 67p. Dissertação de Mestrado.
- SIQUEIRA, W.S. **Desempenho agrônomo e estabilidade fenotípica de clones de alho (*Allium sativum* L.) derivados do cultivo *in vitro***. Campinas : Unicamp, 1997. 135p. Tese de Doutorado.
- SIVAGURU, M.; PALIWAL, K. Differential aluminum tolerance in some tropical rice cultivars. I. Growth performance. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.16, n.9, p.1705-1716, 1993.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics**. Tokyo : McGraw-Hill, 1980. 633p.
- THOMAS, D.; LAPOINTE, S. Testing new accessions of guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.) for acid-soils and resistance to spittlebug (*Aeneolamia reducta*). **Tropical Grasslands**, St. Lucia, v.23, n.4, p.232-239, 1989.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto : Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.