

BC/32092
IB/80012



UNICAMP

ANTONIO CARLOS DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE PROGÊNIES SEGREGANTES, FAMÍLIAS CLONAIIS, HÍBRIDOS F₁,
APOMÍTICOS E CULTIVARES DE CAPIM-COLONIÃO (*Panicum maximum* Jacq.)
QUANTO AO ESTRESSE DE ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA**

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ ALFREDO USBERTI FILHO

CAMPINAS - SP

1997

T/UNICAMP

OL⁴_a

ANTONIO CARLOS DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DE PROGÊNIES SEGREGANTES,
FAMÍLIAS CLONAIIS, HÍBRIDOS F₁ APOMÍTICOS E
CULTIVARES DE CAPIM-COLONIÃO (*Panicum
maximum* Jacq.) QUANTO AO ESTRESSE DE
ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida pelo(a) candidato a)	Antonio Carlos de Oliveira
e aprovada pela Comissão Julgadora.	

22/08/97

HS

Dissertação apresentada ao Instituto
de Biologia da Universidade Estadual
de Campinas em cumprimento
parcial aos requisitos para a
obtenção do título de Mestre em
Biologia na área de Genética
Vegetal.

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSÉ ALFREDO USBERTI FILHO

CAMPINAS - SP
1997

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA CENTRAL DA UNICAMP

Oliveira, Antonio Carlos de

OL4a Avaliação de progênes segregantes, famílias clonais, híbridos F₁ apomíticos e cultivares de capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.) quanto ao estresse de alumínio em solução nutritiva / Antonio Carlos de Oliveira. -- Campinas, SP:[s.n.], 1997.
104f. illus.

Orientador: José Alfredo Usberti Filho
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas,
Instituto de Biologia.

1. Gramínea. 2. Alumínio 3. Estabilidade. 4. Capim-guine. 5. Pastagem. I. Usberti Filho, José Alfredo. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia. III. Título.

UNIDADE	IB
N.º CHAMADA	TIU NIC Amp
	OL4a
V.	Ex.
ICM	32092
PROD	251/97
C	☐
D	☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	15/11/97
N.º CPD	MCC 12-559-5

LOCAL E DATA: Campinas, 29 de agosto de 1997.

BANCA EXAMINADORA:

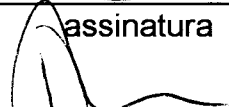
TITULARES:

Prof. Dr. JOSÉ ALFREDO USBERTI FILHO (Orientador)



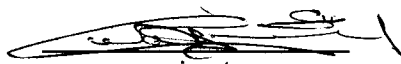
assinatura

Prof. Dr. PAULO MAZZAFERA



assinatura

Dr. WALTER JOSÉ SIQUEIRA



assinatura

SUPLENTE:

Prof.^a Dr.^a CLÁUDIA REGINA BAPTISTA HADDAD

assinatura

A meus pais, Mário e Maria Aparecida,
pelas incansáveis batalhas travadas
em prol de seus filhos,

A meu irmão, José Mário,
pela nossa amizade,

À minha esposa Vera, pelo total apoio,
compreensão e confiança manifestados nesta
etapa de minha vida acadêmica,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Alfredo Usberti Filho, pela orientação, crédito, apoio e amizade;

Ao Dr. Walter José Siqueira, da Seção de Genética/IAC, pela amizade e valiosas sugestões nas análises estatísticas e discussão dos dados;

Ao Dr. Oliveiro Guerreiro Filho, da Seção de Genética/IAC, pela valiosa contribuição na análise multivariada dos dados;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de estudos, que tornou possível a realização desta pesquisa;

À Raully Máximo Rabelo Moreti, pelo auxílio em todas as atividades de laboratório;

Ao Eng^o Agr^o Luís Cláudio Nimtz Rodrigues, pelo auxílio na montagem do experimento dos híbridos;

Ao estagiário Paulo Henrique César, pelo auxílio durante toda a fase experimental;

Aos demais funcionários e estagiários da Seção de Genética, do Instituto Agrônomo de Campinas, pelo respeito e amizade durante todo este período de trabalho;

A todos amigos do curso de Graduação em Biologia, em especial ao Amarildo R. Leite e ao Marcelo O. Santos, por tudo que se viveu e aprendeu nesses ótimos anos de estudo.

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUÇÃO.....	1
II. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. O capim-colonião.....	4
2.2. O alumínio no solo.....	5
2.3. Efeitos fitotóxicos do alumínio.....	7
2.3.1. Sistema radicular.....	7
2.3.2. Parte aérea.....	10
2.4. Mecanismos de resistência das plantas ao alumínio.....	13
2.5. Reações diferenciais de genótipos à toxidez de alumínio.....	16
2.6. Emprego das análises de componentes principais e de estabilidade e adaptabilidade fenotípicas.....	20
III. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1. Material genético experimental.....	23
3.1.1. Progênies segregantes.....	23
3.1.2. Famílias clonais.....	24
3.1.3. Híbridos F ₁ apomíticos e cultivares comerciais.....	24
3.2. Equipamentos.....	25
3.3. Solução nutritiva.....	26
3.4. Instalação dos experimentos e coleta de dados.....	29
3.5. Procedimentos genético-estatísticos.....	34
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1. <u>Progênies Segregantes</u>	39

4.1.1.	Determinação da melhor época de avaliação.....	39
4.1.2.	Comportamento médio dos caracteres.....	40
4.1.3.	Estimativas de parâmetros genético-estatísticos.....	42
4.1.4.	Estimativas de correlações fenotípicas entre caracteres.....	47
4.1.4.1.	Entre épocas de avaliação.....	47
4.1.4.2.	Dentro da melhor época de avaliação.....	48
4.2.	<u>Famílias clonais</u>	48
4.2.1.	Comportamento médio dos caracteres.....	48
4.2.2.	Análise de componentes principais.....	50
4.2.3.	Estimativas de correlações fenotípicas entre caracteres.....	53
4.3.	<u>Híbridos F₁ apomíticos e cultivares comerciais</u>	54
4.3.1.	Determinação da melhor época de avaliação e concentração de alumínio.....	54
4.3.2.	Comportamento médio dos caracteres.....	55
4.3.3.	Análise de componentes principais	56
4.3.4.	Análise de estabilidade e adaptabilidade fenotípicas de altura de plântula frente ao estresse de alumínio.....	59
4.3.5.	Estimativas de correlações fenotípicas entre caracteres.....	63
V.	CONCLUSÕES	65
VI.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	TABELAS	88
	FIGURAS	100

AVALIAÇÃO DE PROGÊNIES SEGREGANTES, FAMÍLIAS CLONAIIS, HÍBRIDOS F₁ APOMÍTICOS E CULTIVARES DE CAPIM-COLONIÃO (*Panicum maximum* Jacq.) QUANTO AO ESTRESSE DE ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

ANTONIO CARLOS DE OLIVEIRA

RESUMO

Dezoito progênies segregantes, oito famílias clonais delas derivadas, 15 híbridos F₁ apomíticos e três cultivares comerciais de capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.) foram avaliados quanto à reação ao estresse da presença de alumínio (Al⁺³), em soluções nutritivas.

Os experimentos foram instalados em delineamentos de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas (parcela: concentração e sub-parcela: genótipo), com três repetições e conduzidos em casa-de-vegetação da Seção de Genética - Centro Experimental de Campinas/IAC, no período de 1995 a 1997.

Foram analisados treze caracteres e relações quantitativas: altura de plântula (AP); comprimento de lâmina foliar (CLF); comprimentos inicial (CIR), total (CTR) e líquido (CLR) de raiz; reduções percentuais de altura de plântula (RPAP), de comprimento total (RPCTR) e líquido (RPCLR) de raiz; pesos fresco e seco de parte aérea (PFPA, PSPA) e de raiz (PFSR, PSSR) e relações de peso seco/peso fresco de parte aérea (PSPA/PFPA) e do sistema radicular (PSSR/PFSR). Utilizaram-se duas (zero e 12 ppm) e três concentrações de Al⁺³ (zero, 12 e 24 ppm), conforme o

caso, com pH ajustado a 4,0, e três períodos de permanência dos genótipos em soluções nutritivas (15, 30 e 45 dias).

A melhor época de avaliação para o grupo de progênes segregantes do IAC-Centauro foi aos 45 dias de permanência em solução nutritiva, com base no critério de ocorrência de maiores magnitudes de estimativas de parâmetros genético-estatísticos, para os caracteres considerados (AP e CLR). Para o grupo de progênes derivadas do cultivar IAC-Tobiatã, entretanto, esses critérios não foram eficientes, sendo então escolhida a mesma época de avaliação (45 dias).

Foram medidas as reações médias de progênes segregantes, originárias de cruzamentos artificiais anteriormente realizados, à presença de Al^{+3} (zero e 12 ppm), obtendo-se estimativas confiáveis de vários parâmetros genético-estatísticos (coeficientes de variação genético - $CVg\%$ e ambiental - $CVe\%$, coeficiente de determinação genotípico - b , herdabilidade no sentido restrito - $h^2r\%$ e ganhos de seleção absoluto - G_s e relativo - $G_s\%$).

Os resultados mostraram que as progênes segregantes derivadas do IAC-Tobiatã possuem maiores estimativas dos referidos parâmetros genético-estatísticos tanto para caracteres de parte aérea ($h^2r\% = 78,01$, $b = 0,77$, $G_s = 5,50$ e $G_s\% = 17,05$, para AP) como de sistema radicular ($h^2r\% = 94,22$, $b = 1,65$, $G_s = 7,41$ e $G_s\% = 49,95$, para CLR), do que as observadas para o grupo de progênes oriundas do IAC-Centauro ($h^2r\% = 52,98$, $b = 0,43$, $G_s = 1,81$

e $G_s\% = 5,68 - AP$; $h^2r\% = 89,82$, $b = 1,21$, $G_s = 5,08$ e $G_s\% = 34,00 - CLR$). Essas estimativas prevêem o sucesso, em futuros esquemas de seleção, visando a obtenção de genótipos com resistência/tolerância ao alumínio em capim-colonião.

Em sequência, possíveis indivíduos resistentes/tolerantes ao Al^{+3} (concentração de 12 ppm) foram selecionados ao acaso **dentro** de algumas das progêneses segregantes, com base em observação visual da parte aérea e do sistema radicular. Posteriormente, os genótipos escolhidos foram multiplicados, por propagação vegetativa, constituindo famílias clonais. Estas foram submetidas, novamente, ao estresse (45 dias) para se confirmar ou não a reação observada nos genótipos originais. Os resultados, com ênfase nas relações RPAP e RPCTR, mostraram que quatro delas (FC5 - resistente; FC1, FC2 e FC4 - tolerantes) das oito famílias clonais avaliadas mantiveram os níveis de resistência dos indivíduos originais, enquanto as restantes mostraram-se suscetíveis ao Al^{+3} .

Finalmente, 15 híbridos F_1 apomíticos inéditos e três cultivares comerciais de capim-colonião foram testados quanto aos caracteres de sistema radicular e de parte aérea acima citados, empregando-se três concentrações de Al^{+3} (zero, 12 e 24 ppm), em três épocas de avaliação (15, 30 e 45 dias de permanência nas soluções nutritivas).

Definiu-se, tanto para as famílias clonais como para os híbridos F_1 /cultivares em estudo, um sistema de classificação de reação ao estresse de Al^{+3} , baseado em

análise de componentes principais (ACP), com identificação de classes de resistência, tolerância, suscetibilidade e sensibilidade.

Acentuada variabilidade entre os genótipos foi observada para os caracteres estudados, em resposta ao estresse de Al^{+3} , em análise multivariada (componentes principais). Foram classificados como resistentes os híbridos H12, H54, H79, H13 e o cultivar IAC-Centenário; como tolerantes, o híbrido H33 e o cultivar IAC-Tobiatã; como sensíveis, os híbridos H38, H42, H55, H56 e H64 e como suscetíveis, os híbridos H10, H21, H22, H31, H140 e o cultivar IAC-Centauro.

Considerando-se cada uma das três concentrações de Al^{+3} como um ambiente, procedeu-se a análise da estabilidade e adaptabilidade fenotípicas, segundo o modelo de EBERHART & RUSSEL (1966). Os materiais genéticos puderam ser classificados em cinco grupos distintos: a) com altas adaptabilidade e previsibilidade de resposta: H12, H13, H33, H79 e cultivar IAC-Centenário; b) com moderada adaptabilidade e elevada previsibilidade de resposta: H21, H22, H42, H54, H56, H64 e cultivar IAC-Tobiatã; c) com moderada adaptabilidade e baixa previsibilidade de resposta: H31 e H38; d) com baixa adaptabilidade e elevada previsibilidade de resposta: H55 e cultivar IAC-Centauro e e) com baixas adaptabilidade e previsibilidade de resposta: H10 e H140.

A associação entre a análise de componentes principais com estimativas de previsibilidade de resposta

mostrou boa precisão (em torno de 80%) na diferenciação de genótipos quanto à reação ao Al^{+3} , podendo o seu emprego ser sugerido em futuros programas de melhoramento genético.

EVALUATION OF SEGREGATING PROGENIES, CLONAL FAMILIES, APOMICTIC F₁ HYBRIDS AND CULTIVARS OF GUINEAGRASS (*Panicum maximum* Jacq.) AS TO ALUMINUM STRESS IN NUTRITIVE SOLUTIONS

ANTONIO CARLOS DE OLIVEIRA

SUMMARY

Eighteen segregating progenies, eight clonal families derived from them, 15 apomictic F₁ hybrids and three cultivars of guineagrass were evaluated as to their reactions to the aluminum (Al⁺³) presence, in nutritive solutions.

Greenhouse trials were carried out in randomized complete block designs (split-plots), with three replications, at Genetics Department-IAC, Campinas, SP, from 1995 to 1997.

Thirteen characters were analysed, as follows: plantlet height (PH); leaf blade length (LBL); initial (IRL), overall (ORL) and liquid root length (LRL); plantlet height percentual reduction (PHPR); overall (ORLPR) and liquid root length percentual reduction (LRLPR); fresh and dry weight of the above-soil fraction (FWASF; DWASF); fresh and dry weight of the root system (FWRS; DWRS) and respective dry/fresh weight relations (DWASF/FWASF; DWRS/FWRS).

Two (zero and 12 ppm) and three (zero, 12 and 24 ppm) Al⁺³ concentrations were used, according to the situation, with pH adjusted to 4,0 and three time periods

(15, 30 and 45 days) of the genotypes in the nutritive solutions.

For the segregating progenies derived from cv. "IAC-Centauro", the best time period for character evaluation was 45 days, based on the occurrence of the highest values for two genetic parameters (genetic variation and genotypic determination coefficients) for the traits considered (PH and LRL). However, these criteria were not effective for those arisen from cv. "IAC-Tobiatã", the same time period (45 days) being arbitrarily chosen.

Other genetic parameters (heritability, in the narrow sense - $h^2_r\%$, genotypic determination coefficient - b , absolute - agg and relative - $rgg\%$ genetic gains) were also estimated. "IAC-Tobiatã" segregating progenies revealed higher values for the estimated genetic parameters, as compared to those derived from "IAC-Centauro" (PH: $h^2_r\% = 78,01$ and $52,98$; $b = 0,77$ and $0,43$; $agg = 5,50$ and $1,81$; $rgg\% = 17,05$ and $5,68$, respectively / LRL: $h^2_r\% = 76,15$ and $58,60$; $b = 0,73$ and $0,48$; $agg = 2,72$ and $1,27$; $rgg\% = 13,84$ and $6,45$, respectively).

Eight clonal families were formed through vegetative propagation of individual plants, selected for probable resistance/tolerance to Al^{+3} presence, within the segregating progenies. Four of them confirmed the resistance/tolerance levels of the original genotypes (CF-5 - resistant; CF1, CF2 and CF4 - tolerant) while the remaining ones showed susceptibility to the stress.

Finally, 15 apomictic F_1 hybrids and three guineagrass cultivars were evaluated as to the forage traits above cited, under aluminum stress (zero, 12 and 24 ppm). For these genotypes, along with the clonal families, it was proposed an Al^{+3} reaction classification system, based on principal component analysis (PCA), with the identification of four different groups: resistance, tolerance, sensibility and susceptibility.

Apomictic hybrids H12, H13, H54, H79 and cv. IAC-Centenário were classified as resistant plant materials; H33 and cv. IAC-Tobiatã, as tolerant ones; H38, H42, H55, H56 and H64, as sensibles and H10, H21, H22, H31, H140 and cv. IAC-Centauro, as susceptibles.

Considering each of the three Al^{+3} concentrations as a different environment, phenotypical adaptability and stability were estimated, according to EBERHART & RUSSEL's model. The genetic materials under testing were placed into five distinct groups: a) high adaptability and response predictability: H12, H13, H33, H79 and cv. IAC-Centenário; b) average adaptability and high response predictability: H21, H22, H42, H54, H56, H64 and cv. IAC-Tobiatã; c) average adaptability and low response predictability: H31 and H38; d) low adaptability and high response predictability: H55 and cv. IAC-Centauro and e) low adaptability and response predictability: H10 and H140.

The association between PCA with stability/response predictability showed good precision for genotype

differentiation as to the aluminum reaction, strongly suggesting its use in future breeding programs.

I. INTRODUÇÃO

Os solos ácidos são comuns nas regiões tropicais e subtropicais do planeta, sendo detectados, em muitos deles, elevados teores de alumínio (Al^{+3}) solúvel. A toxicidade do Al^{+3} é, provavelmente, o principal fator limitante ao crescimento das plantas em muitos destes solos (FOY, 1984). Acarreta a inibição do crescimento e desenvolvimento normal do sistema radicular de plantas sensíveis ao Al^{+3} , interferindo na absorção e transporte de diversos nutrientes (FOY, 1976). Conseqüentemente, ocorre uma redução significativa na exploração do solo pelas raízes, em busca de água e nutrientes, afetando consideravelmente o crescimento das plantas, principalmente em solos secos e inférteis (FOY, 1983).

No Brasil, cerca de 1,8 milhões de Km^2 são cobertos por vegetação de cerrado (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985). A maioria dos solos de cerrado são extremamente ácidos, com elevadas quantidades de Al^{+3} em solução e de baixa fertilidade natural (GOODLAND, 1971). Esta região possui enorme relevância como fronteira agrícola, em franco processo de utilização e com enorme potencial agropastoril.

A pastagem, no Brasil, é uma atividade de vanguarda na abertura de novas áreas agrícolas (SERRÃO *et al.*, 1979). Entretanto, o estabelecimento de pastagens melhoradas, em larga escala, para a pecuária de corte e de leite no cerrado brasileiro, é dificultado, entre outros

fatores, pelo elevado custo de aquisição e transporte de fertilizantes e corretivos. Cumpre enfatizar que a aplicação de corretivos, para insolubilizar o Al^{+3} , é de eficiência limitada, ou seja, não atinge os horizontes mais profundos dos solos.

São comumente encontradas na literatura diferenças marcantes entre gêneros (McCORMICK & STEINER, 1978), espécies (MC-LEAN & GILBERT, 1927; PRATT, 1966; WHEELER & FOLLETT, 1991; HETHERINGTON *et al.*, 1991; NOWAK & FRIEND, 1995) e até mesmo entre indivíduos, dentro de uma mesma espécie, quanto à reação ao Al^{+3} , como em feijão (HERNANI, 1980), trigo (CAMARGO, 1981), sorgo, (FURLANI & CLARK, 1981; BASTOS, 1981), *Leucaena* (MALUF, 1984), arroz (SIVAGURU & PALIWAL, 1993), soja (FOY *et al.*, 1993), entre inúmeros outros.

Assim, a seleção de novos genótipos resistentes ao Al^{+3} tem sido preconizada como uma das alternativas para o estabelecimento racional de diversas culturas em solos ácidos, possibilitando o aumento significativo da produtividade agrícola (LAFEVER, 1981; FOY, 1983).

Nos atuais programas de melhoramento genético de gramíneas forrageiras no Brasil, a resistência ao Al^{+3} é um objetivo prioritário, com vistas à liberação de cultivares que possam ser indicados para nossos solos ácidos.

O capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.), importante gramínea forrageira tropical, é amplamente utilizado no Brasil. A grande maioria dos seus

cultivares/ecótipos/introduções apresenta alta suscetibilidade a solos ácidos, com exceção de alguns materiais genéticos como, por exemplo, o cultivar IAC-Centenário (USBERTI FILHO, 1988). Além do alto potencial forrageiro, este cultivar apresenta elevada resistência ao Al^{+3} , até então não detectada no gênero *Panicum* (USBERTI FILHO, et al., 1987).

Além da procura contínua de novos materiais genéticos de elevado potencial forrageiro, com resistência ou tolerância comprovada ao Al^{+3} , são muito raros na literatura estudos sobre resistência/tolerância ao Al^{+3} em capim-colonião e em outras gramíneas forrageiras tropicais, inexistindo a definição de um sistema de classificação racional e eficiente de reação de genótipos frente ao estresse.

Este trabalho teve os seguintes objetivos principais: a) avaliar o desempenho de progênies segregantes, derivadas dos cultivares IAC-Centauro e IAC-Tobiatã, frente à toxidez de Al^{+3} , b) definir, para as famílias clonais e híbridos F_1 apomíticos em estudo, um sistema de classificação da reação ao estresse, baseado em análise de componentes principais (ACP) e c) estimar a estabilidade e adaptabilidade fenotípicas de híbridos F_1 apomíticos e cultivares comerciais frente a esse estresse, em soluções nutritivas.

II. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O capim-colonião

O capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.) é uma gramínea perene, de reprodução apomítica facultativa (predominância da reprodução assexuada), alotetraplóide ($2n = 32$ ou 36 cromossomos), com número básico 8 ou 9 , respectivamente) (COMBES & PERNÉS, 1970). Encontra-se disseminado na Índia, América Central e do Sul, tendo sido introduzido no Brasil, no século XVII, através do tráfico de escravos (PARSONS, 1972).

O centro de diversidade da espécie encontra-se na África Tropical, notadamente no Quênia e Tanzânia (COMBES & PERNÉS, 1970).

Por causa do seu modo peculiar de reprodução (apomixia), ocorre elevada variação **entre** cultivares, ecótipos e introduções quanto a diversos caracteres morfo-fisiológicos, e reduzida variabilidade **dentro** de uma mesma população (USBERTI FILHO, 1993).

Diferentes autores (MASTROCOLA & MARCOS FILHO, 1984; USBERTI FILHO, 1993) creditam o amplo cultivo do capim-colonião, em condições tropicais e subtropicais, à sua boa adaptação às condições edafo-climáticas dessas regiões, reduzidas exigências agronômicas e de manejo, ausência de pragas e doenças limitantes, elevada produção de matéria seca, bom valor nutritivo e outros caracteres forrageiros.

No Brasil, o capim-colonião é amplamente empregado em regiões pastoris destinadas à pecuária de corte (NILAKHE, 1986). Dos cultivares de capim-colonião comercialmente lançados no país, o IAC-Centenário e o IAC-Tobiatã apresentam elevada reação positiva ao estresse de Al^{+3} , determinada em solução nutritiva e em solos de comprovada acidez (USBERTI FILHO *et al.*, 1987).

2.2. O alumínio no solo

O alumínio (Al) é o terceiro elemento químico mais abundante na litosfera, participando da composição de todos os solos (presente na solução ou sob a forma de rochas aluminosilicatadas). É um elemento metálico, exibindo ligações iônicas e covalentes (McLEAN, 1976), sendo considerado o principal agente da acidez dos solos. Baixas concentrações (1 ppm) já são consideradas tóxicas para a maioria das espécies cultivadas (GOODLAND, 1971; FOY, 1974). Quando em altas concentrações, é freqüentemente relatado como o principal fator limitante da produtividade agrícola (HARTWELL & PEMBER, 1918; ADAMS & PEARSON, 1970; MALAVOLTA *et al.*, 1977; FOY, 1988).

Solos ácidos, com elevados teores de Al^{+3} trocável são muito freqüentes nas áreas tropicais e subtropicais do mundo (FOY *et al.*, 1978; FOY, 1984). Cerca de 1,8 milhões de Km^2 do território brasileiro constituem a região de cerrados (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985), com a

maioria dos solos apresentando elevada acidez, causada pelo Al^{+3} (GOODLAND, 1971).

O teor de Al^{+3} solúvel nos solos e a severidade de sua toxidez às plantas são influenciados por diferentes fatores como pH, tipo de mineral de argila predominante, concentração de sais, de outros cátions e do teor de matéria orgânica do solo (FOY, 1974). O pH crítico do solo que torna o Al^{+3} solúvel, em níveis tóxicos às plantas, é variável de um solo para outro. Em geral, a toxidez não ocorre em solos de pH acima de 5,5 (McCART & KAMPRATH, 1965) e está presente quando o pH é menor que 5,0, quando a solubilidade do Al^{+3} aumenta consideravelmente (MAGISTAD, 1925).

Quando o pH está próximo da neutralidade, o Al é encontrado na forma de óxidos ou aluminosilicatados insolúveis. Com o aumento da acidez do solo, a forma fitotóxica do Al é liberada na solução do solo (KOCHIAN, 1995). A seqüência de reações químicas em que o Al^{+3} está envolvido na acidez do solo é detalhadamente conhecida (COLEMAN & THOMAS, 1967).

Além de sua conhecida toxidez às plantas em condições ácidas, JONES (1961) identificou toxidez do alumínio também sob a forma aniônica, quando em condições alcalinas.

Adubações químicas ricas em fertilizantes não-nitrogenados provocam a salinização dos solos e a conseqüente solubilização do Al para a solução do solo (RAGLAND & COLEMAN, 1962).

A maneira mais usual para se reduzir o efeito tóxico de Al^{+3} nas plantas é o emprego da calagem, que provoca a precipitação do Al^{+3} ativo. O seu uso, entretanto, apresenta limitações de ordem econômica e operacional. FOY *et al.* (1965) citam que, em função da calagem ser realizada somente na profundidade de 20/30 cm, o excesso de Al^{+3} ativo nos horizontes mais profundos inibe o crescimento radicular das plantas nestes. Este fato causa uma concentração das raízes das plantas nas camadas superficiais dos solos, tornando-as mais sensíveis à seca.

Uma maneira econômica e racional de se minimizar o efeito tóxico do Al^{+3} nas plantas é a seleção de novos cultivares comprovadamente resistentes/tolerantes ao estresse, o que superaria o problema de calagem em horizontes profundos dos solos.

2.3. Efeitos fitotóxicos do alumínio

2.3.1. Sistema radicular

Alterações morfológicas, fisiológicas e reduções de crescimento do sistema radicular, provocadas pelo alumínio, tem sido detectadas e interpretadas de diferentes formas.

Já foi demonstrado que o Al^{+3} pode afetar a fisiologia das células do sistema radicular. Sabe-se que o Al^{+3} eleva a viscosidade do protoplasma dessas células,

causando acentuada diminuição de permeabilidade para água e sais (FOY, 1974).

Efeitos deletérios do alumínio nas plantas podem resultar de sua interação com íons de outros nutrientes. A absorção de nutrientes pela raiz, principalmente Ca, P e K, é diminuída pelo excesso de Al^{+3} . LANCE e PEARSON (1969) observaram que a concentração de 0,3 ppm de Al^{+3} , em solução nutritiva, reduziu significativamente a absorção de Ca em plântulas de algodão, no intervalo de uma hora.

O aumento na concentração de Al^{+3} no solo pode acarretar a diminuição da absorção de P (MUNNS, 1965). Sabe-se que o Al^{+3} encontra-se precipitado sob a forma de fosfato de alumínio insolúvel nas células de raiz (parede celular e espaço intracelular) (MALAVOLTA *et al.*, 1977) ou na matriz mitocondrial (CLARKSON, 1966).

KLIMASHEVSKII & DEDOV (1975) concluíram que o alongamento celular em raízes de ervilha pode ser paralizado após a absorção de Al^{+3} pelas paredes celulares, resultando na diminuição de sua elasticidade.

KESSER *et al.* (1975), ao estudarem as regiões de crescimento radicular em cultivares de beterraba sensíveis ao Al^{+3} detectaram alterações morfológicas das células corticais (maior tamanho e formato irregular), sendo que, na coifa, essas células não apresentavam-se íntegras.

A inibição do crescimento de raízes pelo Al^{+3} e a redução da divisão celular no meristema radicular foi, pela primeira vez, relatada por CLARKSON (1965), que observou o

desaparecimento das figuras mitóticas do meristema das raízes de cebola submetidas ao estresse de Al^{+3} . Nos materiais estudados, tratados com 5,4 ppm de Al^{+3} por 6-8 horas, o alongamento da raiz cessou, acompanhado pelo desaparecimento das figuras mitóticas.

WUTKE (1972) sugeriu que a ação do alumínio em tecidos meristemáticos da raiz, que culmina na inibição de divisão celular, pode ser causada pela interação do elemento com ácidos nucleicos. Sabe-se que o alumínio não inibe a síntese de DNA, porém este adquire maior estabilidade de sua dupla-hélice, interferindo no processo de replicação (CLARKSON, 1969; CLARKSON & SANDERSON, 1969). Recentemente, MARTIN (1992), citado por KOCHIAN (1995), determinou que os sítios de ligação do Al^{+3} com o material genético são moléculas associadas com o DNA, como as histonas.

A inibição do alongamento da raiz constitui no sintoma mais drástico e rapidamente observado. O sistema radicular apresenta os primeiros efeitos nocivos do Al^{+3} . Segundo MALAVOLTA *et al.* (1977), as raízes afetadas pelo alumínio apresentam, 1-3 dias após o tratamento (dependendo da concentração de Al^{+3} e da espécie em questão), coloração parda, com inibição do crescimento das raízes laterais e, posteriormente, de todo o sistema radicular. Concomitantemente, pode ocorrer o aumento no diâmetro das raízes.

Em recente revisão de literatura, KOCHIAN (1995) ressalta a dificuldade em se distinguir a inibição do

crescimento das raízes pelo Al^{+3} como reação primária ao estresse ou uma resposta secundária da planta que resulta da danificação do sistema radicular, como é o caso da inibição da absorção de água e nutrientes. Segundo o autor, a grande maioria dos trabalhos sugeriram que a rápida inibição do crescimento da raiz é um sintoma primário da toxicidade do Al^{+3} .

Fortes indícios sugerem que o ápice da raiz é o sítio primário da inibição do crescimento de raiz induzido pelo Al^{+3} . RYAN et al. (1993), trabalhando com o crescimento da raiz em trigo, concluíram que: a) a inibição do crescimento da raiz foi obtida com a exposição de somente os últimos 2-3 mm da raiz (região do meristema e a coroa da raiz) à solução nutritiva com Al^{+3} e b) a inibição do crescimento da raiz não foi obtida quando foram expostas raízes desprovidas da região do ápice radicular.

Independente do mecanismo de estresse provocado pelo Al^{+3} , geralmente ocorre elevada inibição do crescimento e desenvolvimento dos sistemas radiculares de genótipos sensíveis, o que interfere na absorção e transporte de diversos nutrientes (FOY, 1976). Assim, o crescimento das plantas é muito afetado, principalmente em solos secos e inférteis (FOY, 1983), pela redução significativa de exploração do solo pelas raízes.

2.3.2. Parte aérea

A parte aérea das plantas demora mais a apresentar os sintomas de toxidez de Al^{+3} do que as raízes. Os sintomas variam de modificações na estrutura e rigidez de folhas e colmos (enrolamento das folhas jovens e colapso do ápice das plantas) até a atrofia e coloração púrpura dessas estruturas (FOY, 1974). Os referidos sintomas assemelham-se muito às deficiências de Ca e P, respectivamente, em consequência da imobilização desses pelo Al^{+3} (FOY, 1974).

PRATT (1966) considera, entretanto, que estes sintomas não caracterizam um diagnóstico, por não serem suficientemente específicos. FOY *et al.* (1974), trabalhando com genótipos de girassol cultivados no solo, observaram deficiência de Ca, induzida por Al^{+3} . Estes mesmos materiais genéticos, quando crescidos em soluções nutritivas, não apresentaram os sintomas de deficiência de Ca, o que foi interpretado como consequência da maior disponibilidade de Ca nesse último substrato. FURLANI (1979), por outro lado, observou que a alta toxicidade de Al^{+3} , em sorgo, resulta em sintomas nas folhas semelhantes às deficiências de Fe e Mg, e não de Ca e P.

O nível de translocação de alguns nutrientes para a parte aérea das plantas vem sendo utilizado como indicador de resposta ao estresse de Al^{+3} . Em arroz, a toxidez de Al^{+3} diminuiu os teores de Fe, Cu e Mn na parte aérea das plantas (WALLACE & ROMNEY, 1977). DE WARD & SUTTON (1960), trabalhando com diferentes genótipos de pimenta-do-reino, observaram diferenças entre a taxa

$\frac{K}{Ca + Mg}$ na parte aérea dessas plantas. Plantas pouco afetadas pela toxidez de Al^{+3} apresentaram menores valores para a referida relação, ao serem comparadas com aquelas bastante afetadas pelo Al^{+3} . A associação entre a relação $\frac{K}{Ca + Mg}$ e a concentração de Al^{+3} foi também observada em folhas de pessegueiro em soluções nutritivas contendo 0, 222, 666 e 2000 mM de Al^{+3} (EDWARDS *et al.*, 1976). A concentração de Ca e Mg das folhas diminuía a medida que a concentração de Al^{+3} aumentava, enquanto que a concentração do K se elevava nas folhas das plantas submetidas a 666 mM.

Alguns trabalhos relacionam as concentrações de Al^{+3} com a injúria provocada na parte aérea das plantas. RUSCHEL *et al.* (1968), avaliando genótipos de feijoeiro em soluções nutritivas acrescidas de várias concentrações de Al^{+3} , observaram que os efeitos deletérios detectados na parte aérea das plantas não eram provocados pela deficiência de P, mas pelo excesso de Al^{+3} nesses órgãos. OTA (1968) também observou diferentes alterações, provocadas por concentrações fitotóxicas de Al^{+3} em folhas de arroz, como a menor síntese de amido e proteínas, redução na translocação de açúcares, aumento na atividade de peroxidase e redução da citocromo-oxidase.

Recentemente, a associação entre a atividade fotossintética e a ação tóxica do Al^{+3} foi avaliada por MOUSTAKAS *et al.* (1995), empregando o cultivar sensível "Nestos" e o tolerante "Yecora E" de trigo, em solução

nutritiva acrescida de 0, 37,1, 74,1 e 148 mM de Al^{+3} , em pH 4,5. Foram detectadas alterações no tilacóide, mesmo no cultivar mais tolerante. O estresse do Al^{+3} resultou em uma inibição parcial do transporte de elétrons no fotossistema II, o que inibiu a fotossíntese. Os autores postularam que a acidificação intratilacoidal provoca alterações de fotossíntese em genótipos sensíveis ao Al^{+3} .

2.4. Mecanismos de resistência das plantas ao alumínio

Os mecanismos pelos quais determinadas plantas apresentam reação positiva ao Al^{+3} , no substrato em que se desenvolvem, ainda são objeto de estudo. Sem dúvida, operam em níveis bioquímicos, fisiológicos e morfológicos, todos, provavelmente, sob controle genético.

A associação entre a resistência diferencial ao estresse de Al^{+3} e a interferência do elemento na atividade enzimática, principalmente de fosfatases, vem sendo relatada. RORISON (1965) detectou que a esterificação de fosfato inorgânico nos nucleotídeos foi diminuída pelo alumínio nas raízes.

A quelação do Al^{+3} com ácidos orgânicos, especialmente o cítrico e o málico, foi sugerida por JONES (1961) como um mecanismo de resistência ao Al^{+3} , confirmado em pesquisas subsequentes (MIYASAKA *et al.*, 1989; DELHAIZE *et al.*, 1993). FOY & BROWN (1963) detectaram ação significativa de agentes quelantes no decréscimo dos

efeitos prejudiciais do Al^{+3} , em cultivares suscetíveis de cevada. Resultados semelhantes (redução de inibição do crescimento da raiz pelo Al^{+3} com o emprego de ácidos orgânicos) foram relatados por OWNBY & POPHAM (1990).

A maior ou menor resistência das plantas ao Al^{+3} também está associada à capacidade das mesmas em aumentar o pH ao redor dos seus sistemas radiculares, o que diminui a solubilidade do Al^{+3} . Este fenômeno já foi detectado em genótipos resistentes de arroz, centeio, cevada, milho e algodão (FOY *et al.*, 1965; FOY *et al.*, 1967; HOWELER & CADAVID, 1976; FOY *et al.*, 1978; FOY & FLEMING, 1978). Os possíveis mecanismos envolvidos na redução do pH ao redor do sistema radicular são interpretados ou como consequência de desbalanços na absorção de cátions e íons (DODGE & HIATT, 1972) ou do metabolismo de nitrogênio (FOY *et al.*, 1965). No entanto, alguns trabalhos interpretam a alteração do pH ao redor da raiz como resultado, e não como causa, da tolerância diferencial ao alumínio (FOY *et al.*, 1969, 1972).

A reação diferencial de genótipos de uma mesma espécie frente ao estresse de Al^{+3} tem sido também interpretada em termos de diferenças de capacidade de troca catiônica (CTC) das raízes. Há fortes indícios de que a reduzida CTC esteja associada à resistência ao Al^{+3} , uma vez que favorece a absorção de cátions mono e bivalentes, em detrimento daqueles polivalentes, como o Al^{+3} (VOSE & RANDALL, 1962). Dessa forma, uma planta dotada de baixo CTC

em suas raízes atenuaria os efeitos nocivos do Al^{+3} . Cultivares de azevém, cevada e trigo, tolerantes ao Al^{+3} (dotados de baixa CTC), apresentaram menor acúmulo de Al^{+3} nas raízes do que cultivares suscetíveis (FOY *et al.*, 1967).

A habilidade de determinados genótipos em absorver e translocar P, na presença de elevadas concentrações de Al^{+3} , sem apresentar sintomas de deficiência, também tem sido interpretada como um mecanismo de resistência ao Al^{+3} . FOY & BROWN (1964) concluíram, após submeterem vários materiais genéticos ao estresse de alumínio, que os tolerantes são mais eficientes em absorver P em altas concentrações de Al^{+3} nos substratos onde se desenvolvem, do que os suscetíveis.

Distúrbio no metabolismo do Ca é considerado, também, como fator indireto da toxicidade do Al^{+3} em plantas. MUGWIRA *et al.* (1976) relataram que as concentrações de Ca na raiz e na parte aérea de cultivares de cevada, centeio, trigo e triticales diminuía com o aumento da concentração de Al^{+3} na solução nutritiva.

A resistência diferencial ao alumínio pode também se manifestar através de diferenças morfológicas de raiz. Comparando dois cultivares de trigo em solução nutritiva acrescida de Al^{+3} , FLEMING & FOY (1968) relataram uma forte associação entre a tolerância ao Al^{+3} e a habilidade do sistema radicular do cultivar tolerante em manter o alongamento da raiz, quando submetido ao estresse de Al^{+3} .

A associação entre o nível de tolerância de um genótipo e a concentração de Al^{+3} em sua parte aérea tem sido observada. GALLO et al. (1972) detectaram um gradiente de Al^{+3} na parte aérea em 60 cultivares de trigo. Os autores encontraram, em média, 235 ppm de Al^{+3} na parte aérea nos cultivares tolerantes, 374 ppm de Al^{+3} nos cultivares de tolerância intermediária e 463 ppm de Al^{+3} nos cultivares sensíveis.

2.5. Reações diferenciais de genótipos à toxidez de alumínio

Diferentes genótipos podem comportar-se de maneira bem distinta quando avaliados sob determinada concentração de Al^{+3} , quer no campo, em vasos com solo ou em solução nutritiva. Este comportamento diferencial pode ocorrer entre gêneros, espécies, cultivares e mesmo entre indivíduos do mesmo cultivar.

Os primeiros relatos de respostas diferenciais de plantas ao Al^{+3} devem-se a McLEAN & GILBERT (1927), que observaram o crescimento de 12 diferentes espécies, em soluções nutritivas acrescidas de Al^{+3} , classificando-as em três categorias, de acordo com a sensibilidade ao Al^{+3} : a) sensíveis (alface, beterraba, cevada e grama timóteo - crescimento significativamente reduzido em 2 ppm de Al^{+3}); b) reações intermediárias (aveia, centeio, rabanete, repolho e sorgo - crescimento diminuído a 7 ppm de Al^{+3}) e

c) tolerantes (milho, nabo e *Agrostis alba* - crescimento afetado apenas com 14 ppm de Al^{+3}).

NOWAK & FRIEND (1995), estudaram a sensibilidade ao Al^{+3} de duas espécies de *Pinus*, empregando-se soluções nutritivas acrescidas de 0,01 e 4,4 mM de Al^{+3} , por 58 dias, em pH 4,0. O volume de crescimento do caule do *Pinus* "slash" foi mais sensível a 4,4 mM de Al^{+3} do que o do "loblolly".

Os efeitos do Al^{+3} no crescimento em cebola, aspargo e abóbora foram avaliados por WHEELER & FOLLETT (1991). Classificaram como sensíveis a cebola e o aspargo, por apresentarem 50% de redução da produção de matéria seca de raiz, até 5 mM de Al^{+3} , enquanto a abóbora apresentou este patamar de redução somente a 26 mM de Al^{+3} .

Plântulas de 22 cultivares de arroz foram submetidas a seis concentrações de Al^{+3} (0, 74, 148, 222, 296 e 370 mM) para se testar a reação ao Al^{+3} , em solução nutritiva (SIVAGURU & PALIWAL, 1993). A melhor discriminação dos cultivares foi observada a 222 mM de Al^{+3} , e através de diversos parâmetros de crescimento, foram reconhecidos os cultivares mais tolerantes ("Co 37" e "Basmati 370") e suscetíveis ("Damodar" e "ADT 36"). Em pesquisa semelhante, o comportamento de 850 cultivares de arroz quanto à toxidez ao Al^{+3} , em solução nutritiva e em solos ácidos, com diferentes graus de saturação de Al^{+3} , foi avaliado por HOWELER & CADAVID (1976). Empregando o parâmetro crescimento relativo do sistema radicular, os

autores observaram que os cultivares de arroz diferiram acentuadamente quanto às reações a elevadas concentrações de Al^{+3} , em ambos os ambientes.

A tolerância ao Al^{+3} de 19 genótipos de soja foi avaliada, em solos ácidos, por FOY et al. (1993), com base nos parâmetros de peso seco absoluto da parte aérea e do sistema radicular (avaliados a pH 4,0) e peso seco relativo da parte aérea e do sistema radicular (pH4,0/pH5,1). A introdução "Giessener", originária da ex-URSS, foi considerada tolerante, dado o seu elevado desempenho quanto aos parâmetros avaliados.

Avaliando a tolerância ao Al^{+3} dos cultivares de soja "Biloxi", "Davis" e "Santa Rosa", em soluções nutritivas contendo zero, 3, 5 e 8 ppm de Al^{+3} , FURLANI et al. (1979) observaram que o "Biloxi" foi o mais tolerante, "Santa Rosa" intermediário e "Davis" o menos tolerante.

LIN & MYHRE (1991) identificaram respostas diferenciais ao Al^{+3} em cinco porta-enxertos de *Citrus*, após avaliação de plantas, em soluções nutritivas, contendo sete concentrações de Al^{+3} (4 a 1655 mM), após um período de permanência de 60 dias. O peso fresco da plântula foi o indicador mais adequado da tolerância ao Al^{+3} , distinguindo-se genótipos tolerantes ("Cleopatra mandarin" e "Rough lemon") e sensíveis ("Swingle citramelo" e "Carrizo citrange").

A tolerância ao Al^{+3} de 17 cultivares e introduções de trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.) foi

avaliada por CAMPBELL et al. (1990) em solo (saturação de Al^{+3} de 26,2% e 2,8%, em pH 4,8 e 5,7, respectivamente) e em solução nutritiva (0 e 11 mM de Al^{+3} , a pH 4,5). Os genótipos diferiram significativamente quanto ao vigor de parte aérea, em ambos os meios de crescimento, e quanto ao vigor do sistema radicular, somente em solução nutritiva. Através do peso seco relativo (presença/ausência de Al^{+3}) de ambos os meios de crescimento, identificou-se o cultivar "Kenstar" como o genótipo de maior peso relativo de raiz e parte aérea, enquanto os genótipos "Atlas", "Kenland" e "Redman" apresentaram os menores pesos relativos, para ambos os parâmetros.

Muitos experimentos têm sido realizados para se determinar a variabilidade genética da tolerância ao Al^{+3} , em espécies e cultivares de trigo (FOY et al., 1965; FLEMING & FOY, 1968; FOY et al., 1974; CAMARGO, 1981). Respostas diferenciais de genótipos mostram que os mesmos podem ser distinguidos quanto à reação a tolerância ao Al^{+3} em rápidos "screenings", em soluções nutritivas (KERRIDGE et al., 1971 e CAMARGO, 1981).

MALUF (1984) observou a existência de ampla variabilidade genética intra e inter-populacional para tolerância ao Al^{+3} em populações da leguminosa forrageira *Leucaena leucocephala*, submetidas às concentrações de zero, 3, 9 e 12 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas.

LOPES et al. (1987) aferiram a depressão no crescimento relativo da raiz em diferentes populações de

milho, comparando o crescimento de raiz a 222 mM $\text{Al}^{+3}/\text{l}^{-1}$ e 0 mM $\text{Al}^{+3}/\text{l}^{-1}$. Esta relação foi considerada um eficiente parâmetro para a separação dos genótipos estudados quanto à tolerância ao alumínio.

Em capim-colonião são raros os estudos sobre o comportamento de genótipos da espécie ao estresse de solos ácidos. Podem ser citadas avaliações de híbridos e cultivares quanto à tolerância ao Al^{+3} (USBERTI FILHO *et al.*, 1987), de acessos (THOMAS & LAPOINTE, 1989) e a obtenção de linhagens tolerantes (HUTTON, 1989).

2.6 Emprego das análises de componentes principais e de estabilidade e adaptabilidade fenotípicas

A análise de componentes principais (ACP) estima a convergência/divergência entre diferentes materiais genéticos, através da síntese de variáveis sintéticas, obtidas através de correlações lineares entre diversas variáveis originais. Aplicada pela primeira vez por HOTTELLING (1933), é um método estatístico essencialmente descritivo, tendo como principal objetivo expressar, em forma gráfica, o máximo da informação contida em dados obtidos para diferentes caracteres (PHILIPPEAU, 1986). O princípio básico da ACP é a obtenção de estimativas confiáveis de dissimilaridade, em termos da variação total disponível. É apresentada sob a forma de um diagrama de dispersão, em um sistema de eixos cartesianos, sendo bastante útil em diferentes áreas do melhoramento genético

vegetal. Na ACP ocorre a simplificação do espaço n -dimensional (n = número de variáveis estudadas) para o bi ou tridimensional, o que geralmente acarreta distorções nas distâncias gráficas das coordenadas dos genótipos. Assim, a representatividade do diagrama de dispersão só é aceitável quando 80% ou mais da variância total disponível acumula-se nos dois primeiros componentes principais, que se tornarão os eixos de referência, permitindo inferências quanto à diversidade genética dos materiais em estudo (CRUZ & REGAZZI, 1994).

O emprego da análise de componentes principais, em estudos de melhoramento genético em capim-colonião, tem sido bastante restrito: diferenciação de ecótipos (USBERTI FILHO & JAIN, 1979), seleção de clones às condições de seca, irrigação ou ambos (SEGUI *et al.*, 1988) e na avaliação de produção forrageira e tolerância à geada (MEDEIROS *et al.*, 1997).

Por outro lado, o estudo do comportamento de genótipos em diferentes condições ambientais é essencial em qualquer programa de melhoramento genético. O modelo genético-estatístico de estabilidade e adaptabilidade fenotípicas de EBERHART & RUSSEL (1966) é o preferido, quando o número de ambientes a ser avaliado é menor que sete (VENCOVSKY & BARRIGA, 1992). Os resultados são interpretados com base em dois parâmetros: coeficiente de regressão linear (β_{1i}) e desvio da regressão linear (σ_{di}^2). A magnitude do β_{1i} de um determinado genótipo estima o seu

grau de adaptabilidade às condições ambientais a que foi submetido. A magnitude do σ_{di}^2 , por sua vez, exprime a maior ou menor previsibilidade de resposta às variações ambientais estudadas (VENCOVSKY & BARRIGA, 1992). O genótipo ideal seria aquele que apresentasse β_{1i} estatisticamente igual a 1,0, detectado pelo teste t; σ_{di}^2 estatisticamente igual a 0,0 (teste F) e elevada média fenotípica do carácter considerado (β_{0i}) (CRUZ & REGAZZI, 1994). A primeira condição caracterizaria o genótipo de ampla adaptabilidade, com produtividade média elevada em ambientes favoráveis e desfavoráveis. A segunda condição distinguiria o genótipo de alta estabilidade (previsibilidade). Finalmente, a confiabilidade dos resultados seria fornecida pelo coeficiente de determinação (R_i^2) (níveis aceitáveis para R_i^2 maiores que 80%).

III. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material genético experimental

3.1.1 Progênies segregantes

Foram avaliadas 18 progênies segregantes, derivadas de cruzamentos artificiais previamente realizados entre linhagens de alta sexualidade (genitor feminino) e diversos cultivares/ecótipos/introduções apomíticos de capim-colônia (genitor masculino), reunidas em dois grupos quanto à origem do genitor materno (cultivar IAC-Centauro e IAC-Tobiatã), que são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Genealogias das progênies segregantes de capim-colônia avaliadas, separadas em dois grupos distintos.

GRUPO IAC-CENTAURO gen. fem ^[1] . x gen.masc. ^[2]			GRUPO IAC-TOBIATÃ gen. fem ^[1] . x gen masc. ^[2]		
LSC4	x	H42	LST2	x	16
LSC5	x	16	LST2	x	17
LSC5	x	65	LST2	x	H30
LSC6	x	40	LST2	x	31
LSC6	x	59	LST2	x	H42
LSC7	x	H30	LST2	x	47
LSC9	x	31	LST2	x	48
LSC9	x	44	LST2	x	52
LSC9	x	60	LST2	x	59

Observações: ^[1] LSC4 = linhagem sexual Centauro-4; LSC5 = linhagem sexual Centauro-5; LSC6 = linhagem sexual Centauro-6; LSC7 = linhagem sexual Centauro-7; LSC9 = linhagem sexual Centauro-9; LST2 = linhagem sexual Tobiatã-2;

^[2] 16, 17, 59 e 60 = cv. IAC-Centenário; 65 = cv. IAC-Centauro; H30 e H42 = híbridos F₁ apomíticos; 31 = introdução PI 277913; 40 = cv. "Gatton Panic"; 44 = colônia "Dr. Schanks"; 47 = cv. Aruana; 48 = cv. Petri trichoglume; 52 = cv. Tanganika.

3.1.2. Famílias clonais

Avaliaram-se oito famílias clonais, obtidas através da propagação vegetativa de indivíduos selecionados **dentro** das progênies segregantes, quanto à resistência/tolerância ao estresse da presença de 12 ppm de Al^{+3} , em solução nutritiva, sendo suas genealogias apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Genealogias das famílias clonais de capim-colonião avaliadas.

FAMÍLIA CLONAL	CRUZAMENTO		
	gen fem. ^[1]	x	gen. masc. ^[2]
FC1	LSC5	x	16
FC2	LSC6	x	40
FC3	LSC9	x	44
FC4	LST2	x	47
FC5	LST2	x	48
FC6	LST2	x	48
FC7	LST2	x	48
FC8	LST2	x	52

Observações: ^[1] LSC5 = linhagem sexual Centauro-5; LSC6 = linhagem sexual Centauro-6 ; LSC9 = linhagem sexual Centauro-9; LST2 = linhagem sexual Tobiatã-2;

^[2] 16 = cv. IAC-Centenário; 40 = cv. "Gatton Panic"; 44 = colônia "Dr. Schanks"; 47 = cv. Aruana; 48 = cv. Petri trichoglume; 52 = cv. Tanganika.

3.1.3. Híbridos F_1 apomíticos e cultivares comerciais

Foram testados 15 híbridos F_1 apomíticos inéditos, resultantes do programa de melhoramento genético de capim-colonião do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), cujas genealogias são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Genealogias dos híbridos F₁ apomíticos de capim-colônia avaliados.

HÍBRIDO	CRUZAMENTO		
	gen. fem. ^[1] x gen. masc.		
H10	LST1	x	SEA-2
H12	LST1	x	SEA-2
H13	LST1	x	cv. IAC-Tobiatã
H21	LST2	x	PI-277915
H31	LST2	x	colônia. "Dr. Schanks"
H33	LST2	x	colônia "Dr. Schanks"
H38	LST2	x	cv. Aruana
H42	LST2	x	cv. Aruana
H54	LST2	x	cv. IAC-Centauro
H55	LST2	x	K-68
H56	LST2	x	K-68
H22	LST2	x	Híbrido-30
H64	LSC1	x	Híbrido-30
H79	LSC2	x	K-68
H140	LSC7	x	cv. Aruana

Observações: ^[1] LST1 = linhagem sexual Tobiatã-1; LST2 = linhagem sexual Tobiatã-2; LSC1 = linhagem sexual Centauro-1; LSC2 = linhagem sexual Centauro-2; LSC7 = linhagem sexual Centauro-7.

O experimento com híbridos foi realizado com a presença de três cultivares comerciais (IAC-Centauro, IAC-Tobiatã e IAC-Centenário), com reações ao Al⁺³ já relatadas (USBERTI FILHO *et al.*, 1987).

3.2. Equipamentos

Utilizaram-se caixas plásticas de 13 litros de capacidade cada, com dimensões de 53 x 43 cm e profundidade de 12 cm. Os recipientes foram pintados, externamente, com tinta-alumínio para impedir a incidência de radiação solar

na solução nutritiva e nas raízes que nela se formam, evitando-se o desenvolvimento de algas.

Para a sustentação das plântulas foram utilizadas placas de isopor de 2,5 cm de espessura, encaixáveis na superfície das caixas plásticas e perfuradas (60 orifícios, equidistantes). Cada orifício da placa foi tampado por um disco de espuma (Figura 1A), com orifício central, através do qual eram colocadas as plântulas, de modo que os sistemas radiculares dos mesmos alcançassem a solução nutritiva (Figura 1B).

O sistema de aeração foi montado com o objetivo de evitar-se a precipitação do Al^{+3} nas soluções nutritivas. Utilizou-se um compressor de ar e tubulações plásticas para a distribuição homogênea de ar nas caixas plásticas. A aeração foi realizada por períodos de quatro horas, intercalados por um período de duas horas (sem aeração), com auxílio de um "timer".

3.3. Solução nutritiva

No processo de avaliação de resistência ou tolerância ao excesso de alumínio há a necessidade de utilização de técnicas que permitam testar um número elevado de plantas de forma rápida, eficiente e com baixo custo operacional. O emprego de solução nutritiva é bastante atrativo por utilizar pequeno espaço físico, ser aplicável em qualquer época do ano e facilitar a manipulação das plantas, para posterior avaliação do

sistema radicular (FURLANI, 1983). Cumpre ainda enfatizar que as respostas diferenciais dos genótipos quanto à resistência ou tolerância ao alumínio são altamente correlacionadas com o desenvolvimento do sistema radicular (DEVINE, 1982).

A solução nutritiva empregada foi semelhante à definida por FURLANI & CLARK (1981), com pequenas modificações realizadas por USBERTI FILHO *et al.* (1987), cuja composição é apresentada no Quadro 1.

Os sais foram dissolvidos separadamente e posteriormente misturados com água destilada, com volume completado para 1 litro. As soluções-estoques dos sais foram mantidas em congelador e descongeladas somente durante o preparo da solução nutritiva com água destilada.

A solução de Fe-EDTA foi preparada dissolvendo-se 17,6 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e 24,9 g de Na_2EDTA em 700 ml de água destilada, arejando-se por um período de 12 horas em frasco escuro, com volume completado para 1 litro.

O pH da solução nutritiva foi ajustado inicialmente para 4,0 com solução de HCl 1N e monitorado periodicamente durante os experimentos.

No estudo dos genótipos, foram utilizadas três concentrações de Al^{+3} (zero, 12 e 24 ppm), estas duas últimas adicionadas à solução nutritiva completa, na forma de sulfato de alumínio-potássio dodehidratado $[\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$.

Quadro 1. Composição das soluções-estoque e da solução nutritiva salina empregada.

Solução-estoque			Solução-estoque/Solução nutritiva			Solução nutritiva ^[1]	
Nome	Sal	g/l	ml/l	Elemento disponibilizado (ppm)		Elemento	ppm
				Cátion	Ânion		
Ca	Ca (NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	270,0	0,61	Ca - 28,20	NO ₃ -N - 19,76	Ca	28,2
	NH ₄ NO ₃	33,8		NH ₄ -N - 3,40	NO ₃ -N - 3,40	K	17,1
K	KCl	18,6	0,46	K - 4,44	Cl - 4,02	Mg	4,2
	KNO ₃	24,6		K - 4,07	NO ₃ -N - 1,47	NO ₃ -N	29,5
	K ₂ SO ₄	44,0		K - 8,29	SO ₄ -S - 3,44	NH ₄ -N	3,4
						S	3,9
						P	0,2
Mg	Mg (NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	142,4	0,31	Mg - 4,19	NO ₃ -N - 4,85	Fe	0,75
						Cl	4,2
P	KH ₂ PO ₄	17,6	0,05	K - 0,25	H ₂ PO ₄ -P	Mn	0,1
						B	0,05
Fe	FeSO ₄ ·7H ₂ O	24,9	0,15	Fe - 1,34	SO ₄ -S - 0,78	Cu	0,007
	Na ₂ EDTA	29,6		Na - 0,54	EDTA - 3,89	Zn	0,03
Micro	MnCl ₂ ·4H ₂ O	2,34	0,15	Mn - 0,09	Cl ₂ - 0,12	Na	0,54
	H ₃ BO ₃	2,04			BO ₃ -B - 0,05	EDTA	4,44
	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	Mo	0,02

[1] Com a adição de ALK(SO₄)₂·12H₂O (PM = 474,38) para obter as concentrações de 12 e 24 ppm de Al⁺³.

Utilizou-se a concentração de 12 ppm de Al^{+3} , em todos os experimentos, por ser este nível considerado discriminante em estudos já realizados em capim-colonião (USBERTI FILHO *et al.*, 1987). A concentração de 24 ppm de Al^{+3} foi utilizada apenas na avaliação dos híbridos e cultivares.

Depois de preparadas, as soluções foram transferidas para as caixas plásticas. A manutenção do volume nas caixas foi feita diariamente, com a adição de água destilada, sendo as soluções nutritivas trocadas semanalmente (FURLANI, comunicação pessoal).

Para o monitoramento da existência de carências nutricionais nas plântulas, utilizaram-se as referências de FRANÇA & HAAG (1985, 1986).

3.4. Instalação dos experimentos e coleta de dados

Os experimentos foram conduzidos em casa-de-vegetação da Seção de Genética (Centro Experimental de Campinas/IAC).

As progênies segregantes, híbridos e cultivares comerciais foram transferidos para as soluções nutritivas na fase de plântulas, obtidas da germinação de sementes em caixas de semeadura, modelo Plantágil (128 células, com cinco sementes cada) (Figura 1C), cheias com substrato orgânico-mineral adequado (mistura de solo, areia fina e esterco de curral, na proporção de 4:1:1, acrescido de

corretivo e adubo químico, em quantidades determinadas pela análise prévia do solo) e mantidas em casa-de-vegetação.

A germinação das sementes ocorreu, em média, cinco a seis dias após a semeadura. As plântulas foram transferidas para as soluções nutritivas no estágio de 3-4 folhas (Figura 1D), evitando-se, ao máximo, qualquer tipo de seleção.

No momento da transferência das plântulas para as soluções nutritivas, foi medido o comprimento inicial de raiz (CIR, em cm), tomado do colo da plântula à extremidade da raiz.

Após 15, 30 e 45 dias de permanência nas soluções nutritivas, foram avaliados caracteres de parte aérea e de sistema radicular das plântulas e obtidas relações entre os mesmos, calculando-se razões entre médias de caracteres na ausência e presença de Al^{+3} , conforme explicado a seguir:

a) altura de plântula (AP, em cm): medida do colo da plântula à extremidade da folha mais alta;

b) comprimento de lâmina foliar (CLF, em cm): medida da base ao ápice da maior folha;

c) comprimento total de raiz (CTR, em cm): tomado do colo de cada plântula à extremidade da raiz;

d) comprimento líquido de raiz (CLR, em cm): calculado pela subtração do comprimento inicial (CIR) do comprimento total de raiz (CTR);

Legenda da Figura 1:

1A. Instalação do disco de espuma (contendo uma plântula) em placa de isopor perfurada, disposta em caixa plástica contendo solução nutritiva;

1B. Colocação da plântula em discos de espuma;

1C. Caixas de semeadura contendo plântulas de capim-colonião;

1D. Plântula no estágio de desenvolvimento adequado para a transferência, antes e após lavagem em água corrente;

FIGURA 1



e) e f) reduções percentuais de altura de plântula (RPAP, em %) e de comprimento líquido de raiz (RPCLR, em %): calculadas através da razão entre as médias dos caracteres AP e CLR, avaliados em presença de Al^{+3} pela média dos mesmos, na ausência de Al^{+3} , de acordo com a fórmula:

$$RP = 1 - \left[\frac{\bar{X}_{p.Al^{+3}}}{\bar{X}_{a.Al^{+3}}} \right] \cdot 100, \text{ onde:}$$

RP = redução percentual do caráter (AP ou CLR);

$\bar{X}_{p.Al^{+3}}$ = média estimada do caráter, em presença de determinada concentração de Al^{+3} ;

$\bar{X}_{a.Al^{+3}}$ = média estimada do caráter, na ausência de Al^{+3} .

Após 45 dias de permanência das plântulas nas soluções nutritivas, também foram medidas os seguintes caracteres quantitativos:

g) peso fresco de parte aérea (PFPA, em mg);

h) peso seco de parte aérea (PSPA, em mg): obtido após secagem, por 48 horas, em estufa de circulação forçada de ar, a 60-70°C;

i) relação peso seco/peso fresco de parte aérea: (PSPA/PFPA, em %): calculado pela razão entre o PSPA pelo PFPA x 100;

j) peso fresco de raiz (PFR, em mg): obtido após corte e lavagem com água destilada e pesagem;

k) peso seco de raiz (PSR, em mg): determinado após secagem, por 48 horas, em estufa de circulação forçada de ar a 60-70°C;

l) relação peso seco/peso fresco do sistema radicular (PSSR/PFSR, em %): calculado pela razão entre o PSR e PFR x 100.

O comprimento do sistema radicular é considerado fator discriminante da reação de um genótipo ao Al^{+3} em gramíneas (FLEMING & FOY, 1968; REID *et al.*, 1971). Assim, este caráter foi avaliado com a maior precisão possível, com o cálculo do comprimento líquido de raiz (CLR). Dessa forma, pretendeu-se eliminar prováveis diferenças genotípicas quanto ao crescimento radicular inicial, como já empregado em outros trabalhos (HOWELER & CADAVIDAD, 1976; FURLANI, 1979; FURLANI & CLARK, 1981; LOPES *et al.*, 1987; PRIOLI, 1987).

O PFPA e o PSPA foram avaliados somente nos híbridos F_1 apomíticos e cultivares comerciais.

Após 45 dias de permanência em solução nutritiva, acrescida de 12 ppm de Al^{+3} , foram selecionados indivíduos resistentes/tolerantes ao estresse **dentro** de algumas progênies segregantes em estudo, empregando-se um índice de seleção de 10%, quanto ao desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. Após propagação vegetativa realizada em casa-de-vegetação, foram constituídas famílias clonais dos genótipos escolhidos anteriormente. As mudas de cada família clonal foram colocadas em soluções nutritivas com

zero e 12 ppm de Al^{+3} , com padronização prévia (todas com 10 cm de altura de plântula e sistema radicular cortado rente). Após 45 dias de permanência no sistema, avaliaram-se os caracteres CTR, AP e CLF.

3.5. Procedimentos genético-estatísticos

O delineamento experimental utilizado para os três experimentos (progênies segregantes, famílias clonais e híbridos F_1 apomíticos/cultivares comerciais) foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições. O modelo matemático empregado é detalhado a seguir:

$$Y_{ijk} = m + T_i + B_j + E(a)_{ij} + P_k + (TP)_{ik} + E(b)_{ijk}$$

onde:

Y_{ijk} = medida do k-ésimo genótipo no j-ésima concentração de Al^{+3} na i-ésima repetição;

m = média geral do experimento;

T_i = tratamentos alocados nas parcelas;

B_j = blocos;

$E(a)_{ij}$ = erro experimental ao nível de parcela;

P_k = tratamentos alocados nas subparcelas;

$(TP)_{ik}$ = interação entre os dois tipos de tratamentos;

$E(b)_{ijk}$ = erro experimental ao nível de subparcela.

Consideraram-se todos os componentes como sendo de efeito fixo (VENCOVSKY , 1987). A estrutura da análise de variância simples, ao nível de médias, é apresentada no Quadro 2.

QUADRO 2. Estrutura da análise de variância e respectivas esperanças dos quadrados médios $[E(QM)]^1$, ao nível de médias, no delineamento em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, utilizada nos experimentos.

F.V.	G.L.	Q.M.	E(Q.M.)
Blocos	r-1	QM_B	$\sigma^2_E + g\sigma^2_e + cg\sigma^2_{bl.}$
C: Concentr. Al^{+3}	c-1	QM_C	$\sigma^2_E + g\sigma^2_e + rg\sigma^2_C$
Erro (A)	(c-1)(r-1)	$QM_{E(A)}$	$\sigma^2_E + g\sigma^2_e$
Parcelas	cr-1	$QM_{PARCELA}$	
G: Genótipos	g-1	QM_G	$\sigma^2_E + rc\sigma^2_G$
C x G	(c-1)(g-1)	$QM_{C \times G}$	$\sigma^2_E + rc\sigma^2_{C \times G}$
Erro (B)	c(g-1)(r-1)	$QM_{E(B)}$	σ^2_E
Subparcelas	r(g-1)	$QM_{SUBPARCELA}$	
Total	cgr-1		

Observações: r = número de repetições, c = número de concentrações de Al^{+3} e g = número de genótipos.

As concentrações de Al^{+3} foram alocadas na parcela e os genótipos na sub-parcela, com quatro (na concentração de zero ppm de Al^{+3}) ou seis plântulas (nas concentrações de 12 e 24 ppm de Al^{+3}) por genótipo, dispostos aleatoriamente dentro de cada nível de Al^{+3} . Cada bloco experimental foi constituído por caixas, cada qual contendo uma determinada concentração de Al^{+3} .

Adotou-se o teste de Duncan ($P = 0,05$) para a comparação entre médias.

As progênies segregantes, para efeito de todas as análises estatísticas, foram divididas em dois grupos,

¹ Nos fatores de efeito fixo, σ^2 é empregada como um componente do tipo $\sum t_i^2/(c-1)$ não representando, portanto, um parâmetro populacional (VENCOVSKY, 1987).

quanto à procedência do genitor feminino: a) derivadas do cultivar IAC-Centauro e b) derivadas do cultivar IAC-Tobiatã. Tal procedimento justificou-se pelo fato destes cultivares de capim-colônia possuírem ciclos de florescimento e reações ao alumínio muito distintas: o IAC-Centauro é de ciclo de florescimento precoce e suscetível ao Al^{+3} , enquanto o IAC-Tobiatã revela ciclo de florescimento tardio e moderada resistência ao Al^{+3} .

Dados percentuais dos caracteres PS/PF-PA, PS/PF-SR, RPAP e RPCLR foram transformados em arc seno $\sqrt{\%}$ (STEEL & TORRIE, 1980), previamente à execução da análise de variância e do teste de comparação de médias.

A análise de variância ao nível de parcelas e os testes de médias dos outros caracteres avaliados, nas progênies segregantes e nos híbridos/cultivares comerciais, foram realizados com dados **per se** enquanto que, para as famílias clonais foi necessária a prévia transformação dos mesmos em $\sqrt{x}$, para a obtenção de interação significativa entre genótipo e concentração de Al^{+3} .

Após isolamento e cálculo da variância genética e da variância ambiental, a partir das esperanças do quadrado médio do modelo empregado, estimaram-se parâmetros genético-estatísticos para os caracteres avaliados nos dois grupos de progênies segregantes, através das seguintes expressões:

a) Variância genética aditiva (σ^2_G):

$$\sigma^2_G = \frac{QM_G - QM_{E(B)}}{rc}$$

b) Variância ambiental (σ^2_E):

$$\sigma^2_E = QM_{E(B)}$$

c) Coeficiente de variação genético (CVg%):

$$CVg = \frac{\sqrt{\sigma^2_G}}{\bar{X}} \cdot 100, \text{ onde } \bar{X} \text{ é a média geral do caráter;}$$

d) Coeficiente de variação ambiental (CVe%):

$$CVe = \frac{\sqrt{\sigma^2_E}}{\bar{X}} \cdot 100, \text{ onde } \bar{X} \text{ é a média geral do caráter;}$$

e) Coeficiente de determinação genotípico (b):

$$b = \frac{CVg(\%)}{CVe(\%)}$$

f) Herdabilidade no sentido restrito (h^2_r):

$$h^2_r = \frac{\sigma^2_G}{\frac{\sigma^2_E}{rc} + \sigma^2_G} \cdot 100$$

g) Ganho de seleção absoluto (Gs):

$$Gs = \frac{\sigma^2_G}{\sqrt{\frac{\sigma^2_E}{rc} + \sigma^2_G}} \cdot K$$

Para os cálculos das estimativas dos ganhos de seleção absoluto, $K = 1,585$ (intensidade de seleção de 10%), conforme tabela XX de FISHER & YATES (1969).

h) Ganho de seleção relativo (Gs%):

$$Gs = \frac{Gs}{\bar{X}} \cdot 100, \text{ onde } \bar{X} \text{ é a média geral.}$$

Para os experimentos com as famílias clonais e híbridos F_1 apomíticos/cultivares comerciais, utilizou-se a análise de componentes principais (ACP) para a possível definição de um sistema de separação de genótipos em diferentes classes de reação à toxidez de Al^{+3} , empregando-se os caracteres RPAP e RPCLR, associados a outros caracteres de raiz e parte aérea. Após o processo, foram caracterizadas quatro classes de reação ao estresse de Al^{+3} (resistência, tolerância, sensibilidade e suscetibilidade), visualizadas sob a forma de diagrama de dispersão, em gráfico bidimensional.

Considerando-se as três concentrações de Al^{+3} empregadas como ambientes distintos, avaliou-se a estabilidade e adaptabilidade dos híbridos/cultivares comerciais frente ao estresse, baseadas em médias do caráter AP, utilizando-se o modelo genético-estatístico de EBERHART & RUSSELL (1966).

Finalmente, em cada experimento, foi testada a significância das estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica ($r_{F_{X.Y}}$), pelo teste "t" com $n-2$ graus de liberdade com $P = 0,0$ e $0,01$ (STEEL & TORRIE, 1980).

As análises de variância, testes de média e estimativas de correlações fenotípicas foram realizadas empregando-se o programa estatístico SANEST (ZONTA & MACHADO, 1986). A análise de componentes principais foi realizada utilizando-se o programa STATITCF (ITCF, 1986) e, por sua vez, a estabilidade e adaptabilidade fenotípicas foram medidas, utilizando-se o programa GENES (CRUZ, 1996).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Progênieis segregantes

O emprego de soluções nutritivas no estudo da reação ao Al^{+3} de genótipos de progênieis segregantes permitiu avaliar, quantitativamente, diferentes caracteres, notadamente os de sistema radicular, o que seria muito difícil em experimentos de campo ou de vasos.

4.1.1. Determinação da melhor época de avaliação

Na escolha da época de avaliação (15, 30 e 45 dias de permanência das plântulas em soluções nutritivas com e sem Al^{+3}), que melhor discriminasse as progênieis segregantes em estudo, adotou-se aquela em que o caráter CLR apresentasse os maiores coeficientes de variação genético (CVg%) e determinação genotípico (b).

A escolha do caráter CLR deveu-se ao fato de que o mesmo é considerado como discriminante na seleção de genótipos com resistência/tolerância ao Al^{+3} . Também foram obtidos os referidos parâmetros genético-estatísticos para o caráter AP, que fornece boa indicação do potencial forrageiro dos materiais genéticos em estudo.

Para o grupo de progênieis derivadas do cultivar IAC-Centauro, a avaliação aos 45 dias detectou para CLR, CVg% = 22,65 e b = 1,21, muito superiores aos das demais épocas de avaliação. Por outro lado, para AP, os valores

dos parâmetros citados foram semelhantes, em todas as épocas de avaliação (Tabela 4).

Para o grupo de progênes derivadas do cultivar IAC-Tobiatã, os critérios utilizados foram menos evidentes para a escolha da melhor época de avaliação. Os valores dos parâmetros genéticos CVg% e b, para os caracteres CLR e AP, foram praticamente semelhantes nas duas épocas finais (30 e 45 dias) (Tabela 5).

O cultivar IAC-Tobiatã é de ciclo de florescimento tardio (180 dias), o que parece indicar que não houve tempo suficiente para a diferenciação de suas progênes, ao contrário do ocorrido para as do cultivar IAC-Centauro, de ciclo de florescimento precoce (80 dias). Assim, arbitrariamente, considerou-se a avaliação aos 45 dias também como a mais apropriada para o grupo de progênes derivadas do cultivar IAC-Tobiatã.

Os parâmetros genéticos CVg% e b vêm sendo também empregados na identificação da melhor concentração de Al^{+3} , em experimentos onde são avaliadas diversas variáveis associadas à resistência/tolerância ao estresse (HERNANI, 1980; MODA-CIRINO, 1984).

4.1.2. Comportamento médio dos caracteres

Para as progênes originárias do cultivar IAC-Centauro, os efeitos da adição de 12 ppm de Al^{+3} à solução nutritiva nas expressões dos caracteres AP, CLF, CTR e CLR, são apresentados na Tabela 6.

Embora ocorrendo diferenças significativas **entre** progênieis quanto aos caracteres estudados (dentro de cada concentração de Al^{+3}), quase todas as progênieis apresentaram reduções significativas dos valores das características, quando comparados os resultados médios obtidos na concentração de 12 ppm de Al^{+3} com os da concentração-controle (zero ppm de Al^{+3}). Os únicos casos de diferenças não significativas ocorreram para AP e CLF na progênie 6 x 40.

Nas progênieis derivadas do cultivar IAC-Tobiatã, os efeitos da adição de 12 ppm de Al^{+3} à solução nutritiva nas expressões dos caracteres AP, CLF, CTR e CLR, encontram-se na Tabela 7.

Ao contrário do que ocorreu para as progênieis do IAC-Centauro, detectaram-se diferenças significativas **entre** progênieis (dentro da concentração de 12 ppm de Al^{+3}) somente para os caracteres AP e CLF. Porém, todas as progênieis apresentaram reduções significativas dos valores das características, quando comparados os resultados médios obtidos na concentração de 12 ppm de Al^{+3} com os de zero ppm de Al^{+3} .

Em geral, para os caracteres avaliados ocorreu maior número de diferenças significativas entre médias (na concentração de 12 ppm de Al^{+3}) em progênieis derivadas do cultivar IAC-Centauro, do que nas originárias do cultivar IAC-Tobiatã.

A explicação mais plausível para esses resultados parece ser devida à ocorrência de maior variabilidade fenotípica, quanto a características de raízes, no cultivar IAC-Centauro do que no IAC-Tobiatã, conforme detectado por SEGEREN (1993), aliado ao emprego de cinco linhagens sexuais diferentes nos cruzamentos em IAC-Centauro e apenas uma no IAC-Tobiatã.

Os demais caracteres estudados (PFR, PSR e PSSR/PFSR) não apresentaram diferenças significativas tanto entre progênies como entre as concentrações de Al^{+3} empregadas. Resultados semelhantes foram encontrados por MODA-CIRINO (1984) para o caráter peso da matéria seca de raízes em arroz. Assim, caracteres que envolvem a pesagem do sistema radicular, utilizados neste experimento, não foram parâmetros confiáveis para se avaliar a reação média ao estresse de Al^{+3} em plântulas de capim-colonião desenvolvidas em solução nutritiva. Isso porque os materiais suscetíveis, por apresentarem engrossamento típico de raiz, podem revelar pesos frescos e pesos secos do sistema radicular semelhantes aos dos resistentes/tolerantes, mascarando os resultados.

4.1.3. Estimativas de parâmetros genético-estatísticos

As estimativas de parâmetros genético-estatísticos no melhoramento genético são empregadas com o intuito de previsão de comportamento de uma população submetida à seleção artificial (SIQUEIRA, 1989).

Foram estimados diversos parâmetros genético-estatísticos (coeficientes de variação genético - CVg%, coeficiente de determinação genotípico - b, herdabilidade no sentido restrito - $h^2r\%$ e ganhos de seleção absoluto e relativo - Gs e Gs%, respectivamente) para os caracteres AP, CLF, CTR e CLR, para ambos os grupos de progênes segregantes, em duas concentrações de Al^{+3} (Tabelas 8 e 9).

O sucesso de um programa de melhoramento genético está na dependência da variabilidade genética aditiva (σ^2_G) existente, que possa vir a ser explorada para a seleção de novos genótipos. De um modo geral, detectou-se variação genética entre as progênes segregantes para todas as características consideradas, sendo que o grupo de progênes derivadas do IAC-Tobiatã mostrou estimativas de parâmetros de maiores valores do que as do grupo de progênes originário do IAC-Centauro, conforme será discutido detalhadamente a seguir.

O coeficiente de variação genético (CVg%) expressa a quantidade de variação genética existente **entre** genótipos para um determinado caráter, sendo o seu conhecimento fundamental, em qualquer programa de melhoramento genético (GONÇALVES *et al.*, 1991). Observa-se que o grupo das progênes segregantes derivadas do IAC-Tobiatã apresenta maior variação genética, tanto para os caracteres de sistema radicular quanto para os de parte aérea.

Por outro lado, o coeficiente de determinação genotípico (b) expressa a variabilidade genética de um caráter, sem a influência da média geral do mesmo. Quando este índice é próximo ou maior que a unidade, têm-se condições favoráveis à seleção (VENCOVSKY, 1987). Conclui-se que existem maiores chances de sucesso na seleção de genótipos superiores no grupo de progênies oriundas do cultivar IAC-Tobiatã.

Segundo FALCONER (1964), a herdabilidade no sentido restrito é o grau de correspondência entre o valor fenotípico e o valor genético apresentado por um caráter nas circunstâncias do ambiente e da população onde o mesmo foi avaliado. Em ambos os grupos de progênies, os valores encontrados para este parâmetro genético foram sempre maiores para os caracteres de sistema radicular (CTR e CLR) do que para os de parte aérea (AP e CLF). Este fato confirma fortemente que aqueles estão muito mais associados à resistência/tolerância ao estresse.

Os coeficientes de herdabilidade no sentido restrito para os caracteres de parte aérea referentes ao grupo de progênies do IAC-Centauro foram menores (52,98% - AP e 58,60% - CLF) em relação àqueles encontrados para as progênies do IAC-Tobiatã (78,01% - AP e 76,15% - CLF), evidenciando a presença, no primeiro grupo, de menor variabilidade genética aditiva disponível à seleção.

Os altos coeficientes de herdabilidade no sentido restrito associados a elevados coeficientes de variação genéticos, para os caracteres estudados no grupo de

progênieis oriundas do IAC-Tobiatã, permitem prever um maior sucesso na seleção de genótipos superiores quanto à resistência/tolerância ao Al^{+3} , em relação aos resultados obtidos para o grupo de progênieis do IAC-Centauro.

Os ganhos de seleção por ciclo, calculados com base em intensidade de seleção de 10%, foram os seguintes: 1,81 cm - AP, 1,27 cm - CLF, 4,72 cm - CTR e 5,08 cm - CLR (grupo de progênieis derivadas do IAC-Centauro) e 5,50 cm - AP, 2,72 cm - CLF, 7,02 cm - CTR e 7,41 cm - CLR (grupo de progênieis derivadas do IAC-Tobiatã).

Finalmente, o ganho de seleção relativo (Gs%) expressa o acréscimo/decrécimo esperado em um determinado caráter, em cada ciclo de seleção. Os dados obtidos (5,68% - AP, 6,45% - CLF, 22,72% - CTR e 34,00% - CLR, referentes ao grupo de progênieis derivadas do IAC-Centauro e 17,05% - AP, 13,84% - CLF, 33,77% - CTR e 44,95% - CLR, para o grupo de progênieis derivadas do IAC-Tobiatã, indicam que a seleção será mais eficiente e rápida, para todos os caracteres, nesse último grupo de progênieis.

A razão dos menores valores dos parâmetros genéticos supracitados detectados para caracteres de parte aérea (AP e CLF) para o grupo de progênieis derivadas do IAC-Centauro, cultivar reconhecidamente mais variável que o IAC-Tobiatã para diversos caracteres morfo-agronômicos de parte aérea (SEGEREN, 1993), parece ser a sua comprovada suscetibilidade ao Al^{+3} . Esta pode ter afetado, de maneira significativa, a expressão desses caracteres em progênieis

de cruzamentos em que está envolvido, quando na presença de 12 ppm de Al^{+3} .

Por outro lado, para os caracteres de sistema radicular (CTR e CLR), embora os valores de herdabilidade sejam elevados e semelhantes para os dois grupos de progênies, as derivadas do IAC-Tobiatã revelaram maiores ganhos de seleção relativos. A explicação é a de que o cultivar IAC-Tobiatã, sendo moderadamente resistente ao Al^{+3} , transmitiu às suas progênies, de forma variável, genes de resistência ao estresse, enquanto o cultivar IAC-Centauro (suscetível ao Al^{+3}), dependeu da ocorrência de raras combinações gênicas favoráveis, obtidas em cruzamentos, para a expressão de reação positiva ao Al^{+3} .

Pode-se depreender das Tabelas 8 e 9 que as estimativas dos parâmetros genéticos $CVg\%$, b , $h^2r\%$ e $Gs\%$, obtidas para o caráter CTR, são de menor magnitude que as suas correspondentes para CLR. Isto se deve ao fato de que no CLR há a eliminação de possíveis diferenças genotípicas afetando o crescimento radicular, através da subtração dos valores de CIR do CTR, resultando em estimativas de parâmetros genético-estatísticos mais confiáveis.

As precisões experimentais variaram de 10,94% a 19,73%, consideradas satisfatórias para experimentações em casa-de-vegetação.

Os resultados obtidos nesse experimento evidenciam a importância da realização de cruzamentos dirigidos, entre genótipos com alta sexualidade e

polinizadores de origem bem diversa, com vistas à ampliação da base genética relacionada à resposta ao estresse de Al^{+3} em capim-colonião, o que pode permitir a seleção de novos genótipos de melhor reação.

4.1.4. Estimativas de correlações fenotípicas entre caracteres

4.1.4.1. Entre épocas de avaliação

Correlações positivas e de elevada magnitude foram detectadas entre os caracteres estudados, em duas épocas de avaliação (15 e 45 dias), nos grupos de progênes derivadas dos cultivares IAC-Centauro e IAC-Tobiatã (Tabelas 10 e 11, respectivamente).

Correlações fenotípicas entre AP-15 x AP-45 ($r = 0,88^{**}$) e CLR-15 x CLR-45 ($r = 0,68^{**}$) (grupo de progênes do IAC-Centauro) e as mesmas ($r = 0,93^{**}$ e $0,72^{**}$) para o grupo de progênes do IAC-Tobiatã, sugerem a possibilidade de avaliação precoce e descarte de genótipos de baixo desempenho frente ao estresse de Al^{+3} , já na primeira época de avaliação (15 dias), com evidente economia de tempo e material. Por outro lado, é viável a seleção indireta de caráter de sistema radicular (CLR), baseada em dados de caráter de parte aérea (CLF) - CLF-15 x CLR-45 - $r = 0,40^{*}$ e $0,66^{**}$ (IAC-Centauro e IAC-Tobiatã, respectivamente).

4.1.4.2. Dentro da melhor época de avaliação

As correlações fenotípicas entre caracteres, avaliados aos 45 dias, para os grupos de progênie derivadas do IAC-Centauro e IAC-Tobiatã, são apresentadas nas Tabelas 12 e 13, respectivamente.

Os resultados obtidos mostraram que existem elevadas chances de sucesso na seleção indireta para a resistência/tolerância do Al^{+3} nas progênie oriundas do cultivar IAC-Tobiatã. Assim, por exemplo, a seleção de maior AP ou CLF resultaria em maiores valores para CLR (AP x CLR, $r = 0,77^{**}$ e CLF x CLR, $r = 0,81^{**}$). Ao contrário, para as progênie derivadas do IAC-Centauro, a seleção indireta seria ineficiente (AP x CLR, $r = 0,33^{ns}$ e CLF x CLR, $r = 0,39^{*}$).

4.2. Famílias Clonais

As famílias clonais foram avaliadas nas mesmas condições (concentrações de zero e 12 ppm de Al^{+3} e período de permanência de 45 dias) adotadas no experimento das progênie segregantes que lhes deram origem.

4.2.1. Comportamento médio dos caracteres

Os efeitos da adição de 12 ppm de Al^{+3} à solução nutritiva nos caracteres AP, CLF, CTR e nas relações RPAP e RPCTR são apresentados na Tabela 14. Os três primeiros apresentaram reduções significativas quando comparados os

resultados obtidos a zero e 12 ppm de Al^{+3} , com exceção da família clonal FC5. Esta revelou resultados semelhantes para AP e CLF nas duas concentrações de alumínio. Isso era esperado desde que a progênie segregante da qual ela se originou (LST-2 x 48) também apresentou excelente desempenho médio quanto aos caracteres de parte aérea citados.

Para se eliminar a provável ocorrência de efeitos genéticos (principalmente relativos ao vigor e ciclo de florescimento), inerentes de cada combinação genética estudada, que poderiam mascarar os resultados, optou-se pelo cálculo das reduções percentuais de altura de plântula e de comprimento total de raiz, quando comparados os resultados obtidos a 12 e zero ppm de Al^{+3} (RPAP e RPCTR, respectivamente), dentro de cada genótipo avaliado. A redução percentual de AP foi escolhida, no lugar da redução percentual de CLF, tendo em vista que a correlação entre AP x CLF foi elevada ($r = 0,98^{**}$).

Para as relações RPAP e RPCTR, novamente a família clonal FC5 destacou-se em relação às demais (14,53% e 40,86% de reduções médias de AP e CTR, respectivamente). Por outro lado, observou-se elevada amplitude de variação para as relações citadas (de 14,53% a 66,45%, para RPAP; de 40,86% a 94,57%, para RPCTR).

Das oito famílias clonais avaliadas, quatro (FC1, FC2, FC4 e FC5) confirmaram a seleção visual dos indivíduos originais, selecionados **dentro** das progênies segregantes, para a resistência/tolerância ao Al^{+3} . Isso, sem dúvida,

foi devido à impossibilidade de teste do mesmo indivíduo selecionado, **dentro** da progênie segregante, nas concentrações de zero e 12 ppm de Al^{+3} e posterior seleção baseada em reduções percentuais de parte aérea e sistema radicular.

Mesmo assim, o sucesso obtido na identificação de famílias clonais resistentes/tolerantes sugere que a metodologia empregada, se adequadamente refinada, é viável para o uso em programas de melhoramento genético da espécie, visando a resistência/tolerância ao Al^{+3} .

4.2.2. Análise de componentes principais

Definiu-se a divergência/convergência das famílias clonais quanto à reação ao estresse de Al^{+3} através de análise de componentes principais (ACP), obtendo-se o diagrama de dispersão, apresentado na Figura 2. Os caracteres utilizados foram AP, CLF, CTR e as relações RPAP e RPCTR. O eixo x respondeu por 96% da variância total disponível enquanto o eixo y com apenas 2,8% da mesma. No eixo x, as contribuições das variáveis para o mesmo foram as seguintes: AP = 99%; CLF = 99%; CTR = 95%; RPAP = 90%; RPCTR = 97%. Para o eixo y, as contribuições dos caracteres estudados foram muito mais modestas, a saber: AP = 0,0%; CLF = 0,0%; CTR = 4,0%; RPAP = 9,0%; RPCTR = 0,0%. Assim, constatou-se que, no presente caso, as variáveis estudadas estão estreitamente correlacionadas com o eixo x.

Com base na posição das famílias clonais no diagrama de dispersão, em relação às retas de regressão das relações RPAP e RPCTR, classificou-se FC5 como resistente; FC1, FC2 e FC4, como tolerantes, enquanto as demais foram definidas como suscetíveis ao estresse de 12 ppm de Al^{+3} .

As classes de reação ao Al^{+3} detectadas pela ACP (resistência, tolerância, sensibilidade e suscetibilidade) são semelhantes àquelas utilizadas em estudos de reações de plantas à qualquer condição adversa do meio ambiente (MENTEN, 1990), como é a saturação de Al^{+3} no solo. Dessa maneira, pode-se entender a resistência como a habilidade de um genótipo em superar a ação nociva do alumínio, em termos de efeitos reduzidos no desenvolvimento radicular e da parte aérea/produção de sementes. Por outro lado, a tolerância (tipo especial de resistência) pode ser definida como a capacidade do material genético em manter elevado desempenho, em termos de vigor/produtividade de parte aérea, mesmo com redução significativa de desenvolvimento radicular. A sensibilidade é detectada em casos onde ocorrem elevadas reduções de desenvolvimento de parte aérea, desproporcionais quanto a pequenos decréscimos de desenvolvimento radicular. Finalmente, a suscetibilidade caracteriza os materiais genéticos desprovidos de mecanismos que minorem a ação prejudicial do estresse. Os conceitos apresentados acima são quantitativos e relativos, envolvendo comparações entre genótipos, em determinadas condições ambientais (PAINTER, 1951).

Em pesquisas de fitopatologia, a tolerância de plantas a patógenos pode ser estimada através de regressão linear entre a intensidade da doença e a redução de produtividade. Elevada magnitude do desvio da regressão indica o nível de tolerância de um determinado material genético (PARLEVLIET, 1981). Seguindo o mesmo princípio, as famílias clonais tolerantes ao Al^{+3} (FC1, FC2 e FC4) puderam ser identificadas, com base em suas coordenadas quanto às relações RPAP e RPCTR. No caso específico de tolerância, ocorre uma elevada RPCTR, semelhante às dos materiais suscetíveis, aliada à uma RPAP baixa ou mediana, como nos materiais resistentes.

Observa-se, também, que a FC5 é um material genético divergente dos demais quanto ao conjunto de caracteres considerados. Em casos como esse, PHILIPPEAU (1986) recomenda a remoção do genótipo discrepante e a realização de nova análise, com o intuito de observar o comportamento dos genótipos restantes. Assim o fazendo (Figura 3), as contribuições dos caracteres para os eixos x e y sofreram pequenas alterações, a saber: eixo x: AP = 91%; CLF = 95%; CTR = 86%; RPAP = 90%; RPCTR = 83%; eixo y: AP = 6%; CLF = 2%; CTR = 11%; RPAP = 6%; RPCTR = 14%. De fato, analisando-se a Figura 3, as famílias clonais podem, agora, ser classificadas como resistente (FC4), tolerantes (FC1 e FC2) e suscetíveis (FC3, FC6, FC7 e FC8).

Cumprе ressaltar que os eixos das variáveis sintéticas x e y, para os diagramas de dispersão das Figuras 2 e 3, acumularam uma variância total maior que

80%, o que proporciona uma representatividade aceitável dos genótipos, pressuposto importante para as inferências no estudo de análise de componentes principais (CRUZ & REGAZZI, 1994).

Com o objetivo de confirmar-se a classificação apresentada acima, realizou-se análise fatorial discriminante (AFD), com a suposição de existência de três classes distintas de reação ao estresse de 12 ppm de Al^{+3} entre as famílias clonais (Figura 2): suscetibilidade (FC3, FC6, FC7 e FC8), tolerância (FC1, FC2 e FC4) e resistência (FC5). A AFD detectou que as famílias clonais, sugeridas como pertencentes às classes citadas acima, foram agrupadas com 100% de acerto. Assim, as relações RPAP e RPCTR, avaliadas em uma ACP, mostraram-se de extrema importância na identificação das classes de reação ao Al^{+3} , devendo o seu uso ser fortemente sugerido em programas de melhoramento genético.

4.2.3. Estimativas de correlações fenotípicas entre caracteres

Os coeficientes de correlação fenotípica entre caracteres e relações percentuais encontram-se na Tabela 15.

O caráter AP, de fácil quantificação, é o mais indicado para seleção precoce indireta, sendo altamente correlacionado com o CTR (AP x CTR, $r = 0,78^{**}$), o mesmo ocorrendo com as reduções percentuais dos mesmos caracteres

(RPAP x RPCTR, $r = 0,88^*$). Por outro lado, é evidente a associação de AP e CTR com a resistência/suscetibilidade ao alumínio: quanto maior CTR, menor RPAP ($r = -0,67^{**}$; quanto maior AP, menor RPCTR ($r = -0,94^{**}$).

4.3. Híbridos F_1 apomíticos e cultivares comerciais

Os híbridos foram avaliados nas concentrações de zero, 12 e 24 ppm de Al^{+3} , por períodos de 15, 30 e 45 dias de permanência em solução nutritiva.

Foram também avaliados três cultivares comerciais (IAC-Centauro, IAC-Tobiatã e IAC-Centenário), anteriormente classificados como suscetível, moderadamente resistente e resistente ao Al^{+3} , respectivamente, para confirmação ou não da precisão da metodologia empregada.

4.3.1. Determinação da melhor época de avaliação e concentração de alumínio

Na escolha da época de avaliação (15, 30 e 45 dias de manutenção das plântulas em solução nutritiva com zero, 12 e 24 ppm de Al^{+3}) que melhor discriminasse os híbridos e cultivares em estudo, adotou-se aquela em que o CLR e a AP apresentassem os maiores coeficientes de variação genético (CVg%), os menores coeficientes de variação ambiental (CVe%) e, conseqüentemente, os maiores valores para o coeficiente de determinação genotípico (b).

A avaliação aos 45 dias detectou, para CLR, CVg% = 35,69 e b = 2,49 e para AP, CVg% = 22,89 e b = 2,04, na

grande maioria dos casos superiores aos das demais épocas de avaliação (Tabela 16).

Adotando-se o mesmo critério, a concentração de Al^{+3} com maior poder discriminatório entre os genótipos foi a de 24 ppm. Para CLR, obteve-se $CVg\% = 65,50$ e $b = 5,50$, enquanto para AP, $CVg\% = 37,89$ e $b = 2,55$, sempre superiores aos estimados na concentração de 12 ppm de Al^{+3} (Tabela 17).

4.3.2. Comportamento médio dos caracteres

Os efeitos da adição de 24 ppm de Al^{+3} à solução nutritiva nos caracteres AP, CLF e na relação RPAP são apresentados na Tabela 18.

Reduções significativas de AP foram detectadas em todos os genótipos, sem exceção, quando comparados os resultados obtidos a zero e 24 ppm de Al^{+3} .

Da mesma maneira, quanto ao caráter CLF, foram detectadas reduções significativas para a grande maioria dos genótipos, quando comparados os resultados obtidos a zero e 24 ppm de Al^{+3} , com exceção dos híbridos H12 e H13 (médias do caráter estatisticamente semelhantes nas duas concentrações).

O caráter RPAP apresentou uma grande amplitude de variação (17,26%, para o H13 até 72,35%, para o cultivar IAC-Centauro), o que comprova a ocorrência de elevada variabilidade para a reação da parte aérea ao efeito prejudicial do Al^{+3} . A escolha da relação RPAP, ao invés da

RPCLF, para expressar o efeito do estresse de Al^{+3} na parte aérea, deve-se à alta correlação entre elas ($r = 0,80^{**}$).

Quanto ao sistema radicular, os efeitos da adição de 24 ppm de Al^{+3} à solução nutritiva nos caracteres CTR, CLR e na relação RPCLR são apresentados na Tabela 19. Reduções significativas de CTR e CLR foram detectadas, sem exceção, em todos os genótipos, quando comparados os resultados obtidos a zero e 24 ppm de Al^{+3} . Quanto à relação RPCLR, salientaram-se os híbridos H12, H54, H55, H64, H79 e o cultivar IAC-Centenário. Observou-se, também, elevada amplitude de variação (37,19%, para o cultivar IAC-Centenário até 97,02%, para o cultivar IAC-Centauro). A escolha da relação RPCLR, ao invés da RPCTR, para expressar o efeito do estresse de Al^{+3} no sistema radicular, deve-se à alta correlação entre elas ($r = 0,97^{**}$).

Os demais caracteres estudados (PFR, PSR, PSSR/PFSR, PFPA, PSPA e PSPA/PFPA) não apresentaram diferenças significativas para os híbridos e cultivares comerciais estudados. Da mesma forma que ocorreu em progênies, caracteres que envolvem pesagem (tanto de parte aérea como de raiz) não foram parâmetros confiáveis na avaliação da reação à presença de alumínio.

4.3.3. Análise de componentes principais

Avaliou-se a convergência/divergência dos híbridos e cultivares comerciais quanto à reação ao estresse de 24 ppm de Al^{+3} , obtendo-se o gráfico de

dispersão apresentado na Figura 4. As variáveis utilizadas nesta análise foram as seguintes: AP, CLF e RPAP (parte aérea) e CTR, CLR e RPCLR (sistema radicular).

O eixo x representou 79,2% da variância total disponível, para os caracteres estudados, enquanto o eixo y foi responsável por 16,7% da variabilidade estimada. Por outro lado, as contribuições dos caracteres individuais, para a constituição dos referidos eixos foram as seguintes: eixo x - AP = 82%; CLF = 83%; RPAP = 66%; CTR = 81%, CLR = 78% e RPCLR = 83%; eixo y - AP = 14%; CLF = 13%; RPAP = 26%; CTR = 18%, CLR = 20% e RPCLR = 10%.

Salienta-se que a variância total dos caracteres, representada pelos eixos x e y, atingiu 95,9% (>80,%), revelando uma representatividade excelente dos genótipos (CRUZ & REGAZZI, 1994).

Com base em análise detalhada dos genótipos quanto às suas posições em relação às retas das relações RPAP e RPCLR, o que tem coerência biológica quanto aos conceitos de resistência/tolerância e suscetibilidade ao estresse de Al⁺³, quatro grupos puderam ser definidos: a) resistência: H12, H13, H54, H79, e o cultivar IAC-Centenário (baixas RPAP e RPCLR); b) tolerância: H38 e o cultivar IAC-Tobiatã (alta RPCLR associada à moderada RPAP); c) sensibilidade: H38, H42, H55, H56 e H64 (baixa RPCLR associada à moderada RPAP) e d) suscetibilidade: H10, H21, H22, H31, H140 e IAC-Centauro (altas RPAP e RPCLR).

As classificações dos cultivares IAC-Centauro e IAC-Centenário, obtidas neste trabalho (suscetível e

resistente, respectivamente), é idêntica às reações ao Al^{+3} já determinadas, anteriormente, para os mesmos (USBERTI FILHO *et al.*, 1987). Já a classificação obtida para o IAC-Tobiatã (tolerante) diverge daquela obtida pelos referidos autores (moderadamente resistente). A razão parece ser que, na presente pesquisa, os materiais genéticos foram classificados com base em análise conjunta de reduções percentuais de parte aérea e sistema radicular, muito mais precisa do que a análise apenas do crescimento radicular frente ao estresse.

Para confirmar-se ou não a classificação sugerida acima, foi realizada análise fatorial discriminante (AFD). Esta detectou que os híbridos e cultivares comerciais, sugeridos como pertencentes às quatro classes de reação ao alumínio, foram agrupados com 94,3% de acerto.

À semelhança do que ocorreu para as famílias clonais, a uniformidade genotípica dos híbridos e cultivares comerciais assegurou maior validade aos resultados obtidos, pelo isolamento do efeito causado pelo alumínio daqueles de origem genética (efeitos específicos de combinações gênicas), inerentes de cada material em estudo.

Cumprе ressaltar que os eixos das variáveis sintéticas x e y, para o diagrama de dispersão da Figura 4, acumularam uma variância total maior que 80%, o que proporciona uma representatividade aceitável dos genótipos, conforme já discutido anteriormente.

O sistema proposto de classificação de reação frente ao estresse de Al^{+3} é inédito em capim-colonião, em outras forrageiras tropicais e mesmo em outras espécies de elevado potencial econômico. Baseado no isolamento do efeito do Al^{+3} em importantes caracteres 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 à correta instalação e manejo de pastagens melhoradas.

4.3.4. Análise da estabilidade e adaptabilidade fenotípicas do caráter altura de plântula, frente ao estresse de alumínio

Dos caracteres avaliados nesta pesquisa, a altura de plântula (AP) é um bom indicador do potencial forrageiro dos materiais genéticos em estudo.

A análise de variância conjunta daquela característica, aos 45 dias, detectou significativa interação genótipos x concentrações de Al^{+3} , sugerindo um comportamento diferencial dos genótipos nas três concentrações de alumínio utilizadas. Considerando-se cada uma destas como um ambiente distinto, procedeu-se à análise de estabilidade e adaptabilidade fenotípicas pelo modelo de EBERHART & RUSSEL (1966), o mais adequado quando da ocorrência de reduzido número de ambientes (VENCOVSKY & BARRIGA, 1992).

Os resultados obtidos para diversos parâmetros (coeficiente de regressão linear - β_{1i} , desvio da regressão linear - σ_{di}^2 , coeficiente de determinação - R_i^2 e média fenotípica - β_{0i}), para cada genótipo estudado, são apresentados na Tabela 20. A representação das linhas de regressão (índice ambiental x médias de AP) dos genótipos encontra-se nas Figuras 5A e 5B.

O coeficiente de regressão linear (β_{1i}) é uma estimativa da resposta de cada genótipo às variações ambientais (VENCOVSKY & BARRIGA, 1992). No presente trabalho, diferencia o potencial dos materiais genéticos quanto à reação a concentrações crescentes de Al^{+3} , cuja magnitude variou de 0,3354 (H13) até 1,6515 (IAC-Centauro), (Tabela 20).

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 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 18).

Por outro lado, os materiais genéticos com β_{1i} 's estatisticamente maiores que 1,0 são altamente afetados pela presença de concentrações crescentes de alumínio (baixa adaptabilidade) (H10, H55, H140, cultivar IAC-

Centauro). Finalmente, aqueles apresentando β_{1i} estatisticamente igual a 1,0 apresentam moderada capacidade de adaptação às condições ambientais vigentes, variável de acordo com o genótipo considerado.

Considerando-se agora os desvios de regressão linear (σ_{di}^2), 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) 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.

A precisão desta classificação pode ser confirmada pelos resultados obtidos por USBERTI FILHO et al. (1987), que consideraram os cultivares IAC-Centenário e IAC-Tobiatã como resistente e moderadamente resistente ao Al^{+3} , respectivamente, e o cultivar IAC-Centauro como suscetível ao estresse. Nesta pesquisa, todos os três materiais genéticos revelaram elevadas previsibilidades de resposta para as reações ao alumínio anteriormente definidas.

O emprego deste modelo de avaliação de genótipos quanto à reação diferencial ao Al^{+3} é inédito em gramíneas forrageiras tropicais, mas já foi anteriormente utilizado com sucesso em feijão (HERNANI, 1980) e arroz (MODA-CIRINO, 1984).

Comparando-se a classificação obtida através de análise de componentes principais (ACP) 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 morfo-fisiológicos e mesmo para parâmetros de qualidade de sementes (PATERNIANI, 1996), pode-se afirmar que o conjunto de metodologias empregado apresenta elevada chance de sucesso na discriminação de genótipos quanto à reação ao Al^{+3} , o que fortemente sugere o seu emprego em programas de melhoramento genético.

4.3.5. Estimativas de correlações fenotípicas entre caracteres

Os coeficientes de correlação fenotípica entre caracteres e relações percentuais são apresentados na Tabela 21. Da mesma forma como ocorrido para as famílias clonais (Tabela 15), em híbridos e cultivares comerciais a AP foi significativamente correlacionada com CLR ($r = 0,60^{**}$), o mesmo acontecendo com as reduções percentuais dos mesmos caracteres ($RPAP \times RPCLR - r = 0,51^{**}$). Também neste caso, observa-se que quanto maior CLR, menor a RPAP ($r = -0,45^{**}$) e quanto maior AP, menor a RPCLR ($r = 0,63^{**}$).

Em resumo, todos os resultados obtidos nessa pesquisa sugerem a viabilidade de uso e provável sucesso da metodologia proposta em programas de melhoramento, visando a resistência/tolerância ao alumínio, em outras espécies vegetais. Processo semelhante pode ser aplicado, em condições de campo, para a comprovação da

resistência/tolerância ao Al^{+3} e mesmo para outros estresses ambientais.

V. CONCLUSÕES

Com base nas avaliações dos genótipos estudados, nas condições experimentais do presente trabalho, pôde-se concluir que:

- A melhor época de avaliação para o grupo de progênes segregantes derivadas do cv. IAC-Centauro foi aos 45 dias de permanência em solução nutritiva, com base no critério de ocorrência de maiores magnitudes de estimativas de dois parâmetros genético-estatísticos (CVg% e b), para os caracteres AP e CLR. Entretanto, para o grupo de progênes derivadas do cv. IAC-Tobiatã, o critério foi menos eficiente, sendo então escolhida a época de avaliação de 45 dias;
- As progênes segregantes derivadas do cv. IAC-Tobiatã apresentaram, para os caracteres estudados de sistema radicular e de parte aérea, maiores estimativas de parâmetros genético-estatísticos do que as oriundas do cv. IAC-Centauro;
- Altos coeficientes de herdabilidade no sentido restrito associados a elevados coeficientes de variação genéticos, estimados no grupo de progênes oriundas do cv. IAC-Tobiatã, permitem prever, neste caso, um maior sucesso na seleção de genótipos superiores quanto à resistência/tolerância ao Al⁺³;

- Foi detectada a viabilidade de avaliação precoce e descarte de genótipos de baixo desempenho, frente ao estresse de Al^{+3} , já na primeira época de avaliação (15 dias), com evidente economia de tempo e material, para ambos os grupos de progênie;
- Caracteres de pesagem de sistema radicular e de parte aérea não se mostraram confiáveis para se avaliar a reação ao estresse de Al^{+3} , em capim-colonião;
- As famílias clonais foram classificadas quanto à reação ao estresse de 12 ppm de Al^{+3} , em três grupos: suscetibilidade (FC3, FC6, FC7 e FC8), tolerância (FC1, FC2 e FC4) e resistência (FC5), mostrando que a metodologia empregada, após refinamento, pode ser empregada, com sucesso, em futuros programas de seleção;
- As melhores época de avaliação e concentração de Al^{+3} , para os híbridos e cultivares avaliados, foi aos 45 dias, em 24 ppm de Al^{+3} ;
- Os híbridos F_1 apomíticos e cultivares comerciais foram classificados quanto à reação ao estresse de 24 ppm de Al^{+3} como suscetíveis (H10, H21, H22, H31, H140 e cv. IAC-Centauro); sensíveis (H38, H42, H55, H56 e H64); tolerantes (H33 e cv. IAC-Tobiatã) e resistentes (H12, H13, H54, H79 e cv. IAC-Centenário). A precisão desta classificação pode ser também avaliada pelas reações ao Al^{+3} dos cultivares comerciais, confirmando os resultados anteriormente obtidos;

- Os híbridos e cultivares comerciais puderam ser classificados em cinco grupos distintos: a) com altas adaptabilidade e previsibilidade de resposta: H12, H13, H33, H79, cultivar IAC-Centenário; b) com moderada adaptabilidade e elevada previsibilidade de resposta: H21, H22, H42, H54, H56, H64, cultivar IAC-Tobiatã; c) com moderada adaptabilidade e baixa previsibilidade de resposta: H31 e H38; d) com baixa adaptabilidade e elevada previsibilidade de resposta: H55 e cultivar IAC-Centauro e e) com baixas adaptabilidade e previsibilidade de resposta: H10 e H140.
- A associação entre a análise de componentes principais (com forte ênfase em reduções percentuais de parte aérea e sistema radicular, frente ao estresse) e estimativas de previsibilidade de resposta, mostrou precisão muito boa na diferenciação de genótipos quanto à reação ao Al^{+3} . O uso desta metodologia é fortemente sugerido em futuros programas de melhoramento genético.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, F. & PEARSON, R.W. Differential responses of cotton and peanut to subsoil acidity. **Agron. J.**, Madison, 62: 9-12, 1970.

BASTOS, C.R. Toxicity of aluminum in nutrient solution to sorghum seedlings. MS Thesis. Mississippi State University, 1981, 57 p.

CAMARGO, C.E.O. & OLIVEIRA, O.F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. **Bragantia**, 40: 21-31, 1981.

CAMPBELL, T.A.; NUERNBERG, N.J. & FOY, C.D. Differential responses of red clover germplasms to aluminum stress. **J. Plant Nutr.**, New York, 13(11): 1463-1474, 1990.

CLARKSON, D.T. The effect of aluminum and some other trivalent metal cations on cell division in the root apices of *Allium cepa*. **Anal. Bot.**, 29: 309-15, 1965.

_____. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. **Plant Physiol.**, New York, 41: 165-172, 1966.

_____. Metabolic aspects of aluminum toxicity and some possible mechanisms of resistance. **In:** RORISON, I.H. (ed.) Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Oxford, Blackwell Sci. Publ., p. 381-397, 1969.

_____ & SANDERSON, J. The uptake of a polyvalent cation and its distribution in the root apices of *Allium cepa*: Tracer and autoradiographic studies. **Planta**, Berlim, 89: 136-157, 1969.

COLEMAN, N.T. & THOMAS, G.W. The basic chemistry of soil acidity. **Agron. Monog.**, 12: 1-41, 1967.

COMBES, D. & PERNÉS, J. Variations dans les nombres chromosomiques du *Panicum maximum* Jacq. en relation avec le mode de reproduction. **C.R. Acad. Sci.**, Paris, 270: 782-785, 1970.

CRUZ, C.D. GENES. Análise de modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. UFV, Viçosa-MG, 1996.

_____ & REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. UFV, Viçosa-MG, 1994, 390 p.

- DELHAIZE, E.; CRAIG, S.; BEATON, C.D.; BENNET, R.J.; JAGADISH, V.C. & RANDALL, P.J. Aluminum tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) I. Uptake and distribution of aluminum in root apices. **Plant Physiol.**, 103: 685-93, 1993.
- DEVINE, T. E. Genetic fitting of crops to problem soils. **In:** CHRISTIANSEN, M. N. & LEWIS, C. F. (eds.) Breeding plants for less favorable environments. New York, John Wiley & Sons, 1982, p.143-173.
- DE WARD, P.W.F. & SUTTON, C.D. Toxicity of aluminum to black pepper (*Pipper nigrum* L.) in Sarawak. **Nature**, London, 188: 1129-1130, 1960.
- DODGE, C.S. & HIATT, A.J. Relationship of pH to ion uptake imbalance by varieties of wheat (*Triticum vulgare*). **Agron. J.**, 64: 476-481, 1972.
- EBERHART, S.A. & RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Sci.**, Madison, 6:36-40, 1966.
- EDWARDS, T.H.; HORTON, B.D. & KIRPATRICK, H.C. Aluminum toxicity symptoms in peach seedlings. **Journal Amer. Soc. Hortic. Sci.**, Michigan, 101: 133-142, 1976.

FALCONER, D.S. Introduction to quantitative genetics.
Edinburg, 1964, 279 p.

FISHER, R.A. & YATES, F. Tabelas estatísticas para
Biologia, Medicina e Agricultura. Editora Polígono,
Schneiderman, B. (trad.), 1969, 150 p.

FLEMING, A.L. & FOY, C.D. Root structure affecting
differential Al tolerance in wheat varieties. **Agron. J.**,
60: 172-175, 1968.

FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. **In:** CARSON,
E.W. (ed.) The plant root and its enviroment. Virginia
Univ. Press, Charlotesville, 1974.

_____. Differential aluminum and manganese tolerances of
plant species and varieties in acid soils. **Ciência e
Cultura**, São Paulo, 28(2): 150-155, 1976.

_____. Plant adaptation to mineral stress in problem
soils. **Iowa State J. Res.**, 57:339-354, 1983.

_____. Physiological effects of hydrogen, aluminium and
manganese toxicities in acid soil. **In:** ADAMS, F. (ed.)
Soil acidity and liming, Madison, p. 57-97, 1984.

_____. Plant adaptation to acid, aluminum-toxic soils.
Commun. **Soil Sci. Plant Anal.**, 19: 959-987, 1988.

_____; ARMIGER, W.H.; BRIGGLE, L.H. & REID, D.A.
Differential aluminum tolerance of wheat and barley
varieties in acid soils. **Agron. J.**, Madison, 57(5): 413-
417, 1965.

_____; ARMIGER, W.H.; FLEMING, A.L. & LEWIS, C.F.
Differential tolerance of cotton varieties to an acid
soil with high exchangeable aluminum. **Agron. J.**,
Madison, 59: 415-418, 1967.

_____; BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils. I.
Characterization of aluminum toxicity in cotton. **Soil
Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, 27: 403-407, 1963.

_____; BROWN, J.C. Toxic factor in acid soils. II.
Differential aluminum tolerance of plant species. **Soil
Sci. Soc. Amer. Proc.**, Madison, 28: 27-34, 1964.

_____; CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. The physiology of
metal toxicity in plants. **Ann. Rev. Plant Physiol.**, 29:
511-566, 1978.

_____ ; FLEMING, A.L. The physiology of plant tolerance to excess available aluminum and manganese in acid soils. **In:** JUNG, G.A. (ed.) Crop tolerance to sub optimal land conditions. Amer. Soc. Agron., Madison, p. 301-328, 1978.

_____ ; FLEMING, A.L. & ARMIGER, W.H. Aluminum tolerance of soybean varieties in relation to calcium nutrition. **Agron. J.**, 61: 505-511, 1969.

_____ ; FLEMING, A.L., BURNS, G.R. & ARMIGER, W.H. Characterization of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and barley. **Soil Sci. Soc. Amer. Proceed.**, Madison, 31(4):513-521, 1967.

_____ ; FLEMING, A.L. & GERLOFF, G.C. Differential aluminum tolerance in two snapbean varieties. **Agron. J.**, 64: 815-818, 1972.

_____ ; ORRELANA, R.G.; SCHWARTZ, J.W. & FLEMING, A.L. Response of sunflower genotypes to aluminum in acid soil and nutrient solution. **Agron. J.**, Madison, 66: 293-296, 1974.

_____, SHALUNOVA, L.P. & LEE, E.H. Acid soil tolerance of soybean (*Glycine max* L. Merr.) germoplasm from the USSR. **J. Plant Nutr.**, 16(9): 1593-1617, 1993.

FRANÇA, A.F.S. & HAAG, H. P. Nutrição mineral de gramíneas tropicais. I. Carências nutricionais do capim Tobiatã (*Panicum maximum* Jacq.). **Anais da E.S.A.L.Q.**, 42(1):83-95, 1985.

_____. Nutrição mineral de gramíneas tropicais. II. Carências de micronutrientes em capim Tobiatã (*Panicum maximum* Jacq.). **Anais da E.S.A.L.Q.**, 43(2): 537-555, 1986.

FURLANI, P. R. Toxicidade de alumínio e manganês em plantas. **In:** RAIJ, B. Van; BATAGLIA, O. C. & SILVA, N. M. (eds) Acidez e calagem no Brasil. **Soc. Bras. Cienc. Solo**, Campinas, 1983, 361 p.

_____ Screening sorghum for aluminum tolerance. M.S. thesis, University of Nebraska, Lincoln, NE, 124 pp., 1979.

_____ & CLARK, R.B. Screening sorghum for aluminum tolerance in nutrient solution. **Agron. J.**, Madison, 73: 587-594. 1981.

& MIRANDA, M.A.C.; RAMOS, L.C.S. & BATAGLIA, O. Comportamento diferencial de três cultivares de soja em relação à toxidez de alumínio. **Resumos da 31ª Reun. An. Soc. Bras. Prog. Cien.**, p. 16, 1979.

GALLO, J.R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. & ALCOVER, M. Teores de alumínio, manganês, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em sessenta variedades de trigo e sua reação ao "crestamento". **Bragantia**, Campinas, 31: 35-41, 1972.

GONÇALVES, P. de S.; CARDOSO, M.; COLOMBO, C.A.; ORTOLANI, A.A.; MARTINS, A.L.M. & SANTOS, I.C.I. Variabilidade genética da produção anual da seringueira: Estimativa de parâmetros genéticos e estudo da interação genótipo x ambiente. **Bragantia**, Campinas, 49(2):305-320, 1991.

GOODLAND, R. Oligotrofismo e alumínio no cerrado. **In: III Simpósio sobre o Cerrado**, São Paulo, p. 44-60, 1971.

HARTWELL, B.L. & PEMBER, F.R. The presence of aluminum as a reason for the difference in the effect of so-called acid soil on barley and rye. **Soil Sci.**, 6: 259-279, 1918.

HERNANI, L.C. Metodologia de seleção de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao alumínio em solução nutritiva. Dissertação de Mestrado - ESALQ, Piracicaba, 1980, 81 p.

HETHERINGTON, S.J.; ASHER, C.J. & BLAMEY, F.P.C. Comparative tolerance of sugarcane, navybean, soybean and maize to aluminium toxicity. **Aust. J. Agric. Res.**, Melbourne, 39(2): 171 -176, 1991.

HOTTELLING, H. Analyses of a complex of statistical variables into principal components. **J. Educat. Psychol.**, 24: 417-441, 1933.

HOWELER, R.H. & CADAVID, L.F. Screening of rice cultivars for tolerance to Al toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. **Agron. J.**, Madison, 68: 551-555, 1976.

HUTTON, E.M. Breeding acid-soil tolerant lines of the tropical grass *Panicum maximum* Jacq. **XVI Intern. Grassl. Congr.**, Nice, France, 1989.

ITCF. Programa estatístico STAT-ITCF. Paris, 1986.

- JONES, L.H. Aluminum uptake and toxicity in plants. **Plant and Soil**, 13: 292-310, 1961.
- KERRIDGE, P.C., DAWSON, M.D. & MOORE, D.P. Separation of degrees of aluminum tolerance in wheat. **Agron. J.**, 63: 586-591, 1971.
- KESSER, M.; NEUBAUER, B.F. & HUTCHINSON, F.E. Influence of aluminum ions on development morphology of sugarbeet roots. **Agron. J.**, Madison, 67: 84-88, 1975.
- KLIMASHEVSKII, E.L. & DEDOV, V.M. Localization of the mechanism of growth inhibiting action of Al^{+3} in elongating cells walls. **Soviet Plant Physiol.**, New York, 22(6): 1040-1047, 1975.
- KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Ann. Rev. Plant Physiol./ Plant Mol. Biol.**, 46: 237-60, 1995.
- LAFEVER, H.N. Genetic differences in plant responses to soil nutriende stress. **J. Plant Nutr.**, 4:89-109, 1981.

LANCE, J.C. & PEARSON, R.W. Effect of low concentrations of aluminum on growth and water and nutrient uptake by cotton roots. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, Madison, 33: 95-98, 1969.

LIN, Z.; MYHRE, D.L. Differential response of *Citrus* rootstocks to aluminum levels in nutrient solutions. I. Plant growth. **J. Plant. Nutr.**, New York, 14(11): 1223-1238, 1991.

LOPES, M.A.; MAGNAVACA, R.; BAHIA FILHO, A.F.C. & GAMA, E.E.G. Avaliação de populações de milho e seus cruzamentos para tolerância à toxidez de alumínio em solução nutritiva. **Pesq. Agrop. Bras.**, 22(3): 257-265, 1987.

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

MALAVOLTA, E.; SARRUGE, J.R. & BITTENCOURT, V.C. Toxidez de alumínio e manganês. In: FERRI, M.G. (ed.) IV Simpósio sobre o Cerrado, Brasília, 1977.

& KLIEMANN, H.J. Desordens nutricionais no cerrado. Editora NAGY, Piracicaba, 1985, 136 p.

- MALUF, A.M. Avaliação da variabilidade intra e interpopulacional para tolerância ao alumínio em leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.]. Dissertação de Mestrado - ESALQ, Piracicaba-SP, 110 p., 1984.
- MASTROCOLA, M.A. & MARCOS FILHO, J. Armazenamento de sementes de capim-colonião. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, 19(5): 545-552, 1984.
- MCCART, G.D. & KAMPRATH, E.J. Supplying Ca and Mg for cotton on sandy, low exchange capacity soils. **Agron. J.**, 57: 404 -406, 1965.
- MCCORMICK, L.H. & STEINER, K.C. Variation in aluminum tolerance among six genera of trees: toxicity, surface mine revegetation. **Forest Sci.**, 24(4): 565-568, 1978.
- MCLEAN, E.O. Chemistry of soil aluminum. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, 7: 619-636, 1976.
- MCLEAN, F.T. & GILBERT, B.E. The relative aluminum tolerance of crop plants. **Soil Sci.**, Baltimore, 24: 163-176, 1927.

MEDEIROS, R.B.; SOUZA, J.M.; ZAMBRA, J.E.G. & PILLAR, V.D.P. Evaluation of tropical and subtropical forage grasses in the northwest region of Rio Grande do Sul, Brazil. **XVIII Intern. Grassl. Congr.**, Winnipeg/Saskatoon, CA, 1997.

MENTEN, J.O.M. Avoidance: plant defense against pathogens to be better understood and explored. **Summa Phytopathol.**, 16: 77-82, 1990.

MIYASAKA, S.C.; KOCHIAN, L.V.; SHAFF J.E. & FOY, C.D. Mechanisms of aluminum tolerance in wheat. An investigation of genotypic differences in rhizosphere pH, K^+ and H^+ transport, and root-cell membrane potentials. **Plant Physiol.**; 91: 1188-96, 1989.

MODA-CIRINO, V. Reação de genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.) de sequeiro ao alumínio em solução nutritiva. Dissertação de Mestrado - ESALQ, Piracicaba, 162 p, 1984.

MOUSTAKAS, M.; OUZOUNIDOU, G. & LANNOYE, R. Aluminum effects on photosynthesis and elemental uptake in an aluminum-tolerant and non-tolerant wheat cultivar. **J. Plant. Nutr.**, New York, 18(4): 669-683, 1995.

- MUGWIRA, L. M.; ELGAWHARY, S.M. & PATEL, K.I. Differential tolerance of triticale, wheat, rye and barley to aluminum in nutrient solution. **Agron. J.**, 68: 782-787, 1976.
- MUNNS, D.N. Soil acidity and growth of a legume. II. Reaction of aluminum and phosphate in solution and effects of aluminum, phosphate, calcium, and pH on *Medicago sativa* L. in solution culture. **Aust. J. Agric. Res.**, Melbourne, 16: 743-755, 1965.
- NILAKHE, S.S. Sampling procedures for spittlebug adults in pastures of *Panicum maximum*. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, 21(11): 1119-1128, 1986.
- NOVAK, J. & FRIEND, A.L. Aluminum sensitivity of loblolly pine and slash pine seedlings grown in solution culture. **Tree Physiol.**, 15(9): 605-609, 1995.
- OTA, Y. Studies on the occurrence of physiological disease of rice called "brozing". **Bull Nat. Inst. Agric. Sci.**, n° 18, 1968.
- OWNBY, J.D. & POPHAM, H.R. Citrate reverses the inhibition of wheat root growth caused by aluminum. **J. Plant Physiol.**, 135: 588-91, 1990.

PAINTER, R.H. Insect Resistance in Crop Plants. Macmillan Company, Canada, 1951.

PARLEVLIET, J.E. Breeding for resistance against diseases and pests. 11th International Course on Applied Plant Breeding, Netherlands, 1981, 41p.

PARSONS, J.J. Spread of African grasses to the American **Tropics**. **J. Range Mngt.**, 25: 12-17, 1972.

PATERNIANI, R.S. Avaliação de caracteres morfológicos, de qualidade de sementes e suas correlações em híbridos inéditos de *Panicum maximum* Jacq. Dissertação de Mestrado - Unicamp, Campinas, 1996, 67 p.

PHILIPPEAU, G. Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales? ITCF, Paris, 63p, 1986.

PRATT, F.P. Aluminum. **In:** CHAPMAN, H.D. (ed.) Diagnose criteria for plant and soils. Univ. of California, 761 p, 1966.

PRIOLI, A.J. Análise genética da tolerância à toxidez do alumínio em milho. Tese de Doutorado - UNICAMP, Campinas, 182 p, 1987.

- RAGLAND, J.L. & COLEMAN, N.T. Influence of aluminum on phosphorus uptake by snapbean roots. **Soil Sci. Soc. of Amer. Proceed.**, Madison, 26: 88-90, 1962.
- REID, D.A.; FLEMING, A.L. & FOY, C.D. A method for determining aluminum response of barley in nutrient solution in comparison to response in Al-toxic soil. **Agron. J.**, Madison, 63:600-603, 1971.
- RORISON, I.H. The effect of aluminum on the uptake and incorporation of phosphate by excised sanfoin roots. **New. Phytology**, Cambridge, 64: 23-27, 1965.
- RUSCHEL, A.P.; ALVAHYDO, R. & SAMPAIO, I.B.M. Influência do excesso de Al no feijão (*P. vulgaris* L.) cultivado em solução nutritiva. **Pesq. Agropec. Bras.**, 3(2): 229-233, 1968.
- RYAN, P.R.; DiTOMASO, J.M. & KOCHIAN, L.V. Aluminum toxicity in roots: an investigation of spatial sensitivity and the role of the root cap. **J. Exp. Bot.**, 44: 437-446, 1993.

SEGEREN, M. I. Análise da variação fenotípica, estimativas de parâmetros genético-estatísticos e cultura de tecidos em capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.). Tese de Doutorado - Unicamp, Campinas, 1993, 154 p.

SEGUI, E.; TOMEU, A. & MACHADO, H. Efecto de los factores ambientales en la variabilidad presente en una poblacion de *Panicum maximum* Jacq. y su influencia en la seleccion. **Pastos y Forrajes**, 11(3): 221-234, 1988.

SERRÃO, E.A.S.; FALESI, I.C.; VEIGA, J.B. & TEIXEIRA, J.F. Productivity of cultivated pastures in low fertility soils of the Amazon region of Brazil. **In: SANCHES, P.A & TERGAS, L.E. (eds). Pasture production in acid soils of the tropics**, CIAT, Colômbia, 1979, p 195-226.

SIQUEIRA, W.J. Seleção intrapopulacional em cenoura baseada em progênies de meio-irmãos. Dissertação de Mestrado - Unicamp, Campinas, 1989, 168p.

_____. Desempenho agrônômico e estabilidade fenotípica de clones de alho (*Allium sativum* L.) derivados do cultivo "in vitro". Tese de Doutorado - Unicamp, Campinas, 1997, 135p.

SIVAGURU, M. & PALIWAL, K. Differential aluminum tolerance in some tropical rice cultivars. I. Growth performance. **J. Plant. Nutr.**, 16: 1705-1716, 1993.

STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill, Japan, 1980, 633 p.

THOMAS, D. & LAPOINTE, S. Testing new accessions of guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.) for acid-soils and resistance to spittlebug (*Aeneolamia reducta*). **Trop. Grass.**, 23(4): 232-239, 1989.

USBERTI FILHO, J.A. IAC-Centenário: novo cultivar de capim-colonião tolerante a solos ácidos. **Inst. Agron., Campinas**, fld., 4 p., 1988.

Capim-colonião. **In:** FURLANI, A.M.C. & VIÉGAS, G.P. (eds) O melhoramento de plantas no Instituto Agronômico. Vol. 1, Coord. Pesq. Agropec., IAC, 524 p, 1993.

, FURLANI, P.R. & PEREIRA, C.A. Avaliação de híbridos e cultivares de capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.) quanto à tolerância ao alumínio. **XXIV Reun. An. Soc. Bras. Zootec.**, 1987, Brasília, DF.

- _____ & JAIN, S.K. Ecotypic differentiation in guineagrass (*Panicum maximum* Jacq.). **Agro Ecos.**, 5: 145-158, 1979.
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. (ed.) Melhoramento e produção de milho no Brasil. Fundação Cargill, Campinas, 1987, p. 137-214.
- _____ & BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Soc. Bras. Genet., Ribeirão Preto,. 1992, 496 p.
- VOSE, P.B. & RANDALL, P.J. Resistance to aluminum and manganese toxicities in plants related to variety and cation-exchange capacity. **Nature**, London, 1966: 85-86, 1962.
- WALLACE, A. & ROMNEY, E.M. Aluminum toxicity in plants grown in solution culture. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, 8: 791-794, 1977.
- WHEELER, D.M. & FOLLETT, J.M. Effect of aluminum on onions, asparagus and squash. **J. Plant Nutr.**, 14(9): 897-912, 1991.

WUTKE, A.C.P. Acidez. **In:** MONIZ, A.C. (ed.) Elementos de Pedologia. São Paulo, Ed. Polígono, p. 149-169, 1972.

ZONTA, E.P. & MACHADO, A.A. SANEST. Sistema de análise estatística para microcomputadores. UFPel-RS,. 1986.

TABELAS

Tabela 4. Estimativas de parâmetros genético-estatísticos para os caracteres comprimento líquido de raiz (CLR) e altura de plântula (AP) em progênies segregantes oriundas do cv. IAC-Centauro, submetidas às concentrações de zero e 12 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas, por 15, 30, e 45 dias.

PARÂMETROS GENÉTICO-ESTATÍSTICOS	CLR			AP		
	15 dias	30 dias	45 dias	15 dias	30 dias	45 dias
CVg(%) ^[1]	10,81	16,06	22,65	7,84	6,52	4,96
CVe(%) ^[2]	21,17	23,13	18,66	12,02	10,95	11,45
b ^[3]	0,51	0,69	1,21	0,65	0,59	0,43
$\bar{X}$ ^[4]	12,24	14,46	14,96	26,90	30,02	31,94

Observações: ^[1] coeficiente de variação genético; ^[2] coeficiente de variação ambiental; ^[3] coeficiente de determinação genotípico; ^[4] média geral.

Tabela 5. Estimativas de parâmetros genético-estatísticos para os caracteres comprimento líquido de raiz (CLR) e altura de plântula (AP) em progênies segregantes oriundas do cv. IAC-Tobiatã, submetidas às concentrações de zero e 12 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas, por 15, 30, e 45 dias.

PARÂMETROS GENÉTICO-ESTATÍSTICOS	CLR			AP		
	15 dias	30 dias	45 dias	15 dias	30 dias	45 dias
CVg(%) ^[1]	28,84	31,92	32,55	12,34	14,81	12,17
CVe(%) ^[2]	23,72	19,31	19,73	17,92	16,59	15,83
b ^[3]	1,21	1,65	1,65	0,70	0,89	0,77
$\bar{X}$ ^[4]	11,63	14,34	14,84	27,09	30,33	32,27

Observações: ^[1] coeficiente de variação genética; ^[2] coeficiente de variação ambiental; ^[3] coeficiente de determinação genotípico; ^[4] média geral.

Tabela 6. Resultados médios obtidos, para os caracteres altura de plântula (AP), comprimento de lâmina foliar (CLF), comprimento total (CTR) e líquido (CLR) de raiz em nove progênies segregantes derivadas do cv. IAC-Centauro, submetidas às concentrações de zero e 12 ppm de Al^{+3} em soluções nutritivas, avaliados aos 45 dias.

Progênie segregante	Caráter							
	AP (cm)		CLF (cm)		CTR (cm)		CLR (cm)	
	0 ppm	12 ppm	0 ppm	12 ppm	0 ppm	12 ppm	0 ppm	12 ppm
4 x H42	46,89ab ^[3] A ^[4]	17,54bc B	27,60ab A	12,18bc B	27,98de A	7,44abc B	20,35e A	2,65b B
5 x 16	51,07a A	21,24abc B	29,49a A	14,70abc B	38,05b A	13,24a B	32,11b A	8,38a B
5 x 65	44,48bc A	15,21c B	25,40bc A	11,08c B	34,72bc A	7,20bc B	29,21bc A	2,81b B
6 x 40	31,68d A	27,40a A	19,04d A	18,35a A	25,70e A	11,28abc B	19,69e A	4,99ab B
6 x 59	39,64c A	23,25ab B	23,22c A	15,44ab B	32,76bcd A	12,25ab B	26,29cd A	6,63ab B
7 x H30	41,56c A	17,25bc B	24,57bc A	11,28c B	29,59cde A	6,12c B	24,35cde A	1,96b B
7 x 31	43,54c A	22,15ab B	26,76abc A	15,57ab B	44,23a A	9,28abc B	38,73a A	2,62b B
9 x 44	39,91c A	26,83a B	23,03c A	17,10a B	28,12de A	9,35abc B	21,58de A	2,64b B
9 x 60	42,75c A	22,54ab B	25,18bc A	15,56ab B	28,39de A	8,80abc B	21,41de A	2,82b B
$\bar{X}$ ^[1]	42,39 A	21,49 B	24,92 A	14,58B	32,17 A	9,44 B	25,96 A	3,94 B
CV% ^[2]	11,45		10,88		14,75		18,67	

Observações: ^[1] Média geral; ^[2] Coeficiente de variação, em porcentagem; ^[3] Médias, seguidas de letras minúsculas diferentes, na mesma coluna (dentro de cada concentração de alumínio) e ^[4] de letras maiúsculas diferentes, na mesma linha (entre concentrações de alumínio, para cada progênie segregante), diferem significativamente entre si, a $P = 0,05$, de acordo com o teste de Duncan.

Tabela 7. Resultados médios obtidos, para os caracteres altura de plântula (AP), comprimento de lâmina foliar (CLF), comprimento total (CTR) e líquido (CLR) de raiz, em nove progênes segregantes derivadas do cv. IAC-Tobiatã, submetidas às concentrações de zero e 12 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas, avaliados aos 45 dias.

Progênie segregante	Caráter							
	AP (cm)		CLF (cm)		CTR (cm)		CLR (cm)	
	0 ppm	12 ppm	0 ppm	12 ppm	0 ppm	12 ppm	0 ppm	12 ppm
2 x 16	57,39a ^[3] A ^[4]	18,27abc B	31,94a A	12,63bc B	51,61a A	7,68a B	44,58a A	2,35a B
2 x 17	37,93de A	17,87bc B	24,02cde A	12,33bc B	29,49c A	5,27a B	22,36cd A	0,77a B
2 x H30	48,73abc A	12,72c B	27,18abcd A	8,63c B	27,51c A	4,89a B	21,29cd A	0,78a B
2 x 31	32,01e A	20,09abc B	19,81e A	13,44abc B	25,73c A	7,37a B	18,84d A	2,68a B
2 x H42	46,30bcd A	19,15abc B	28,38abc A	13,59abc B	36,60b A	8,83a B	28,03b A	3,21a B
2 x 47	53,02ab A	23,85ab B	29,45ab A	15,62ab B	47,27 a A	9,35a B	41,71a A	3,89a B
2 x 48	45,44bcd A	27,84a B	25,84bcd A	18,06a B	28,99c A	10,50a B	22,10cd A	4,09a B
2 x 52	42,36cd A	18,16abc B	23,87cde A	12,22bc B	27,22c A	7,90a B	20,89cd A	1,87a B
2 x 59	38,05de A	21,63abc B	22,64de A	14,31ab B	31,30bc A	7,08a B	25,09bc A	2,63a B
$\bar{X}$ ^[1]	44,58 A	19,95B	25,90 A	13,42 B	33,97 A	7,65 B	27,21 A	2,47 B
CV% ^[2]	15,83		13,71		15,57		19,73	

Observações: ^[1] Média geral; ^[2] Coeficiente de variação, em porcentagem; ^[3] Médias, seguidas de letras minúsculas diferentes, na mesma coluna (dentro de cada concentração de alumínio) e ^[4] de letras maiúsculas diferentes, na mesma linha (entre concentrações de alumínio, para cada progênie segregante), diferem significativamente entre si, a $P = 0,05$, de acordo com o Teste de Duncan.

Tabela 8. Estimativas de parâmetros genético-estatísticos para os caracteres altura de plântula (AP), comprimento de lâmina foliar (CLF), comprimento total (CTR) e líquido (CLR) de raiz, em progênies segregantes derivadas do cv. IAC-Centauro, submetidas às concentrações de zero e 12 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas, por 45 dias.

PARÂMETROS GENÉTICO-ESTATÍSTICOS ^[1]	AP	CLF	CTR	CLR
CVg%	4,92	5,31	15,39	22,65
CVe%	11,45	10,94	14,76	18,66
b	0,43	0,48	1,02	1,21
$h^2r\%$	52,98	58,60	86,71	89,82
Gs	1,81	1,27	4,72	5,08
Gs%	5,68	6,45	22,72	34,00
$\bar{X}^{[2]}$	31,94	19,75	20,80	14,96

Observações: ^[1] CVg% = coeficiente de variação genético; CVe% = coeficiente de variação ambiental; b = coeficiente de determinação genotípico (CVg/CVe); $h^2r\%$ = herdabilidade, no sentido restrito; Gs = ganho de seleção absoluto; Gs% = ganho de seleção relativo; ^[2] média geral.

Tabela 9. Estimativas de parâmetros genético-estatísticos para os caracteres altura de plântula (AP), comprimento de lâmina foliar (CLF), comprimento total (CTR) e líquido (CLR) de raiz, em progênies segregantes derivadas do cv. IAC-Tobiatã, submetidas às concentrações de zero e 12 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas, por 45 dias.

PARÂMETROS GENÉTICO-ESTATÍSTICOS ^[1]	AP	CLF	CTR	CLR
CVg%	12,17	10,00	23,99	32,55
CVe%	15,83	13,71	15,56	19,73
b	0,77	0,73	1,54	1,65
$h^2r\%$	78,01	76,15	93,44	94,22
Gs	5,50	2,72	7,02	7,41
Gs%	17,05	13,84	33,77	49,95
$\bar{X}^{[2]}$	32,27	19,66	20,81	14,84

Observações: ^[1] CVg% = coeficiente de variação genético; CVe% = coeficiente de variação ambiental; b = coeficiente de determinação genotípico (CVg/CVe); $h^2r\%$ = herdabilidade, no sentido restrito; Gs = ganho de seleção absoluto; Gs% = ganho de seleção relativo; ^[2] média geral.

Tabela 10. Estimativas de correlações fenotípicas entre caracteres de parte aérea e de sistema radicular, em progênies segregantes derivadas do cv. IAC-Centauro, submetidas à concentração de 12 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas, por 15 e 45 dias.

	CLR-45	AP-45	CLF-45
CLR-15	0,68**	0,29 ^{ns}	0,25 ^{ns}
AP-15	0,33 ^{ns}	0,88**	0,83**
CLF-15	0,40*	0,86**	0,85**

Observações: a) CLR-15, AP-15 e CLF-15 = comprimento líquido de raiz, altura de plântula e comprimento de lâmina foliar, avaliados aos 15 dias, respectivamente; CLR-45, AP-45, CLF-45 = idem, avaliados aos 45 dias. b) *, ** e ^{ns} = significativo a 5%, 1% e não significativo, segundo o teste t (Student), respectivamente.

Tabela 11. Estimativas de correlações fenotípicas entre caracteres de parte aérea e de sistema radicular, em progênies segregantes derivadas do cv. IAC-Tobiatã, submetidas à concentração de 12 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas, por 15 e 45 dias.

	CLR-45	AP-45	CLF-45
CLR-15	0,72**	0,75**	0,74**
AP-15	0,58**	0,93**	0,90**
CLF-15	0,66**	0,91**	0,92**

Observações: a) CLR-15, AP-15 e CLF-15 = comprimento líquido de raiz, altura de plântula e comprimento de lâmina foliar, avaliados aos 15 dias, respectivamente; CLR-45, AP-45, CLF-45 = idem, avaliados aos 45 dias. b) ** = significativo a 1%, segundo o teste t (Student).

Tabela 12. Estimativas de correlações fenotípicas entre caracteres de parte aérea e de sistema radicular, em progênies segregantes derivadas do cultivar IAC-Centauro, submetidas à concentração de 12 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas, por 45 dias.

	AP	CLF
CLR	0,33 ^{ns}	0,39*

Observações: a) CLR = comprimento líquido de raiz; AP = altura de plântula e CLF = comprimento de lâmina foliar. b) * = significativo a 5%, segundo o teste t (Student).

Tabela 13. Estimativas de correlações fenotípicas entre caracteres de parte aérea e de sistema radicular, em progênies segregantes derivadas do cultivar IAC-Tobiatã, submetidas à concentração de 12 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas, por 45 dias.

	AP	CLF
CLR	0,77**	0,81**

Observações: a) CLR = comprimento líquido de raiz; AP = altura de plântula e CLF = comprimento de lâmina foliar. b) ** = significativo a 1%, segundo o teste t (Student).

Tabela 14. Resultados médios de altura de plântula (AP), comprimento de lâmina foliar (CLF) e comprimento total de raiz (CTR) em famílias clonais de capim-colonião, submetidas às concentrações de zero e 12 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas, por 45 dias e as reduções percentuais de altura de plântula (RPAP) e de comprimento total de raiz (RPCTR).

FAMÍLIA CLONAL	Caráter						RPAP ^[6] (%)	RPCTR ^[6] (%)
	AP (cm) ^[5]		CLF (cm) ^[5]		CTR (cm) ^[5]			
	0 ppm	12 ppm	0 ppm	12 ppm	0 ppm	12 ppm		
FC1	47,63ab ^[3] A ^[4]	23,90b B	26,66b A	13,26bc B	56,16a A	5,13b B	48,55 bc	88,79 c
FC2	39,66b A	21,36bc B	23,10b A	12,16bcd B	44,49ab A	5,63b B	48,44 bc	87,23 c
FC3	44,56ab A	18,30bc B	23,50b A	9,60cd B	50,43a A	5,16b B	57,92 bc	90,09 c
FC4	46,06ab A	27,13b B	25,73b A	16,13b B	32,90b A	8,53b B	38,65 b	71,60 b
FC5	60,00a A	53,56a A	42,43a A	34,33a A	58,63a A	34,36a B	14,53 a	40,86 a
FC6	43,93b A	17,06bc B	26,06b A	10,43cd B	41,50ab A	5,83b B	60,37 bc	85,19 bc
FC7	50,06ab A	13,73c B	29,23b A	7,83d B	49,19ab A	2,76b B	72,47 c	94,57 c
FC8	52,39ab A	17,66bc B	28,40b A	9,26cd B	42,60ab A	5,46b B	66,45 c	87,72 c
$\overline{X}$ ^[1]	48,03 A	24,08 B	28,14 A	14,12 B	46,99 B	9,11 B	50,92	80,75
CV% ^[2]	10,10		9,44		14,86		18.54	8,74

Observações: ^[1] Média geral; ^[2] Coeficiente de variação, em porcentagem; ^[3] Médias, seguidas de letras minúsculas diferentes, na mesma coluna (dentro de cada concentração de Al^{+3}) e ^[4] de letras maiúsculas diferentes, na mesma linha (entre concentrações de Al^{+3}), para cada família clonal, diferem significativamente entre si, a $P = 0,05$, de acordo com o teste de Duncan; ^[5] dados transformados em $\sqrt{x}$ e ^[6] em $\arcsin \sqrt{\frac{x}{100}}$.

Tabela 15. Estimativas de correlações fenotípicas entre caracteres de parte aérea e de sistema radicular em famílias clonais, submetidas à concentração de 12 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas, por 45 dias.

	CTR	RPCTR
AP	0,78**	-0,94**
RPAP	-0,67**	0,88**

Observações: a) AP = altura de plântula; CTR = comprimento total de raiz; RPAP = redução percentual de altura de plântula; RPCTR = redução percentual do comprimento total de raiz. b) ** = significativo a 1%, segundo o teste t (Student).

Tabela 16. Estimativas de parâmetros genético-estatísticos para os caracteres comprimento líquido de raiz (CLR) e altura de plântula (AP) em híbridos e cultivares de capim-colonião, submetidos às concentrações de zero, 12 e 24 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas, por 15, 30 e 45 dias.

PARÂMETROS GENÉTICO-ESTATÍSTICOS	CLR			AP		
	15 dias	30 dias	45 dias	15 dias	30 dias	45 dias
CVg(%)[¹]	38,26	33,59	35,69	17,07	21,61	22,89
CVe(%)[²]	17,04	20,26	14,33	9,17	14,07	11,21
b[³]	2,24	1,65	2,49	1,86	1,53	2,04
$\bar{X}$ [⁴]	12,22	15,94	19,85	11,27	13,65	15,91

Observações: [¹] coeficiente de variação genético; [²] coeficiente de variação ambiental; [³] coeficiente de determinação genotípico e [⁴] média geral.

Tabela 17. Estimativas de parâmetros genético-estatísticos para os caracteres comprimento líquido de raiz (CLR) e altura de plântula (AP) em híbridos e cultivares de capim-colonião, submetidos às concentrações de 12 e 24 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas, por 45 dias.

PARÂMETROS GENÉTICO-ESTATÍSTICOS	CLR		AP	
	12 ppm	24 ppm	12 ppm	24 ppm
Cvg(%)[¹]	44,76	65,50	26,27	37,89
Cve(%)[²]	20,97	11,91	11,22	14,81
b[³]	2,13	5,50	2,34	2,55
$\bar{X}$ [⁴]	17,45	11,61	15,34	11,43

Observações: [¹] coeficiente de variação genético; [²] coeficiente de variação ambiental; [³] coeficiente de determinação genotípico, e [⁴] média geral.

TABELA 18. Resultados médios obtidos para os caracteres altura de plântula (AP), comprimento de lâmina foliar (CLF) e redução percentual de altura de plântula (RPAP) em 15 híbridos e três cultivares de capim-colonião, submetidos às concentrações de zero, e 24 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas, avaliados aos 45 dias.

HÍBRIDO/ CULTIVAR	AP (cm)		CLF (cm)		RPAP ^[5]
	0 ppm	24 ppm	0 ppm	24 ppm	(%)
H10	22,49 cde ^[3] A ^[4]	8,84 efg B	15,86 def A	6,30 fgh B	60,22 defg
H12	21,97 cde A	15,62 bc B	13,76 fg A	11,54 bc A	29,29 ab ^[3]
H13	19,47 ef A	16,13 b B	13,73 fg A	12,03 ab A	17,26 a
H21	22,29 cde A	10,64 de B	16,19 cdef A	8,00 cb B	59,96 cdef
H22	13,91 h A	6,20 gh B	11,01 hi A	4,43 h B	55,52 cdefg
H31	15,20 gh A	5,33 h B	11,88 gh A	4,05 h B	64,84 efg
H33	14,65 h A	8,44 efgh B	9,36 i A	6,53 fgh B	42,15 bcd
H38	20,12 def A	10,14 def B	14,86 ef A	8,64 def B	48,90 cde
H42	18,04 fg A	10,18def B	18,71 abc A	7,74 ef B	43,41 bcd
H54	26,67 a A	19,23 a B	20,52 a A	14,28 a B	27,99 ab
H55	24,12 abc A	9,93 def B	17,05 bcde A	7,31 efg B	58,70 cdefg
H56	24,26 abc A	12,60 cd B	18,49 abc A	9,17 cde B	48,04 cde
H64	23,04 bcd A	12,88 cd B	17,82 bcd A	9,55 cde B	44,04 bcd
H79	25,80 ab A	20,66 a B	18,90 ab A	2,43 ab B	18,90 a
H140	22,51 cde A	6,91fhg B	18,95 ab A	5,18 gh B	69,31 fg
IAC- Centauro	21,84 cde A	6,08 gh B	15,34 def A	5,06 ghi B	72,35 g
IAC-Centenário	20,55 def A	14,68 bc B	14,31 fg A	10,73 bcd B	28,48 ab
IAC-Tobiatã	20,69 def A	11,42 de B	15,82 def A	8,55 efg B	40,28 bc
X^[1]	20,98 A	11,43 B	15,70 A	8,42 B	46,04
CV%^[2]	11,20		11,84		14,04

Obs: ^[1] Média geral; ^[2] Coeficiente de variação, em porcentagem; ^[3] Médias, seguidas de letras minúsculas diferentes, na mesma coluna e ^[4] de letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre si, a P = 0,05, de acordo com o teste de Duncan; ^[5] dados transformados em $\arcsin \sqrt{\%}$.

TABELA 19. Resultados médios obtidos para os caracteres comprimento total (CTR) e líquido de raiz (CLR) e redução percentual de comprimento líquido de raiz (RPCLR) em 15 híbridos e três cultivares de capim-colonião, submetidos às concentrações de zero e 24 ppm de Al^{+3} em soluções nutritivas, avaliados aos 45 dias.

HÍBRIDO/ CULTIVAR	CTR (cm)		CLR (cm)		RPCLR ^[5] (%)
	0 ppm	24 ppm	0 ppm	24 ppm	
H10	30,23 h ^[3] A ^[4]	11,67 gh B	25,05 g A	6,39 fg B	74,68 de
H12	30,60 gh A	20,93 cde B	25,50 fg A	15,92 cd B	37,42 a
H13	36,66 def A	17,93 ef B	31,40 cde A	12,62 de B	59,56 bc
H21	55,29 a A	15,98 fg B	49,09 a A	9,63 ef B	80,10 e
H22	24,87 i A	9,33 hi B	18,71 h A	3,12 gh B	83,19 ef
H31	23,27 i A	10,95 h B	17,54 h A	5,14 fgh B	69,82 cde
H33	23,74 i A	7,48 hi B	17,71 h A	1,46 gh B	91,84 fg
H38	51,23 ab A	23,48 bcd B	45,44 ab A	17,47 bcd B	61,01 cd
H42	37,11 cdef A	19,11 def B	31,32 cde A	13,80 de B	55,90 bc
H54	33,24 fgh A	21,71 cde B	27,01 efg A	15,02 cd B	44,38 ab
H55	35,45 defg A	23,48 bcd B	29,08 defg A	17,37 bcd B	39,82 a
H56	41,91 c A	27,57 ab B	36,11 c A	21,88 ab B	39,30 a
H64	47,48 b A	30,85 a B	41,68 b A	25,12 a B	39,87 a
H79	39,86 cd A	24,15 bc B	32,94 cd A	17,70 bcd B	44,71 ab
H140	39,70 cde A	8,20 hi B	33,75 cd A	2,60 gh B	92,31 fg
IAC- Centauro	34,72 efgh A	4,59 i B	28,95 defg A	0,95 h B	97,02 g
IAC-Centenário	37,21 cdef A	25,47 bc B	30,66 def A	19,22 bc B	37,19 a
IAC-Tobiatã	34,09 fgh A	10,18 h B	27,31 efg A	3,56 gh B	81,59 e
X ^[1]	36,48 A	17,39 B	30,51 A	11,61 B	62,76
CV% ^[2]	10,68		14,70		9,31

Obs: ^[1] Média geral; ^[2] Coeficiente de variação, em porcentagem; ^[3] Médias, seguidas de letras minúsculas diferentes, na mesma coluna e ^[4] de letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre si, a P = 0,05, de acordo com o teste de Duncan; ^[5] dados transformados em $\arcsin \sqrt{\%}$.

Tabela 20. Estimativas de parâmetros de estabilidade e adaptabilidade fenotípicas para o caráter altura de plântula (AP) de híbridos e cultivares de capim-colonião, submetidos a três ambientes (concentrações de zero, 12 e 24 ppm de Al^{+3} , em solução nutritiva), por 45 dias.

HÍBRIDO/ CULTIVAR	$\beta_{0i}^{[2]}$	$\beta_{1i}^{[3]}$	$\sigma_{di}^2^{[4]}$	$R_i^{2[5]}$ (%)
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
$\bar{X}^{[1]}$	15,91	---	---	---

Observações: ^[1] média geral; ^[2] média, referente aos três ambientes (concentrações de zero, 12 e 24 ppm de Al^{+3}); ^[3] coeficiente de regressão linear, onde **, * e ns = significativo a $P < 0,01$ e $P < 0,05$, respectivamente, segundo o teste t (Student) e não significativo; ^[4] variâncias dos desvios da regressão, onde * e ns = significativo a $P < 0,05$ e não significativo, respectivamente, segundo o teste F; ^[5] coeficiente de determinação.

Tabela 21. Estimativas de correlações fenotípicas entre caracteres de parte aérea e de sistema radicular em híbridos e cultivares de capim-colonião, submetidos à concentração de 24 ppm de Al^{+3} , em soluções nutritivas, por 45 dias.

	CLR	RPCLR
AP	0,60** ^[1]	-0,63**
RPAP	-0,45**	0,51**

Observações: a) AP = altura de plântula; CLR = comprimento líquido de raiz, RPAP = redução percentual de altura de plântula; RPCLR = redução percentual do comprimento líquido de raiz. b) ^[1] ** = significativo a $P < 0,01$, segundo o teste t (student).

FIGURAS

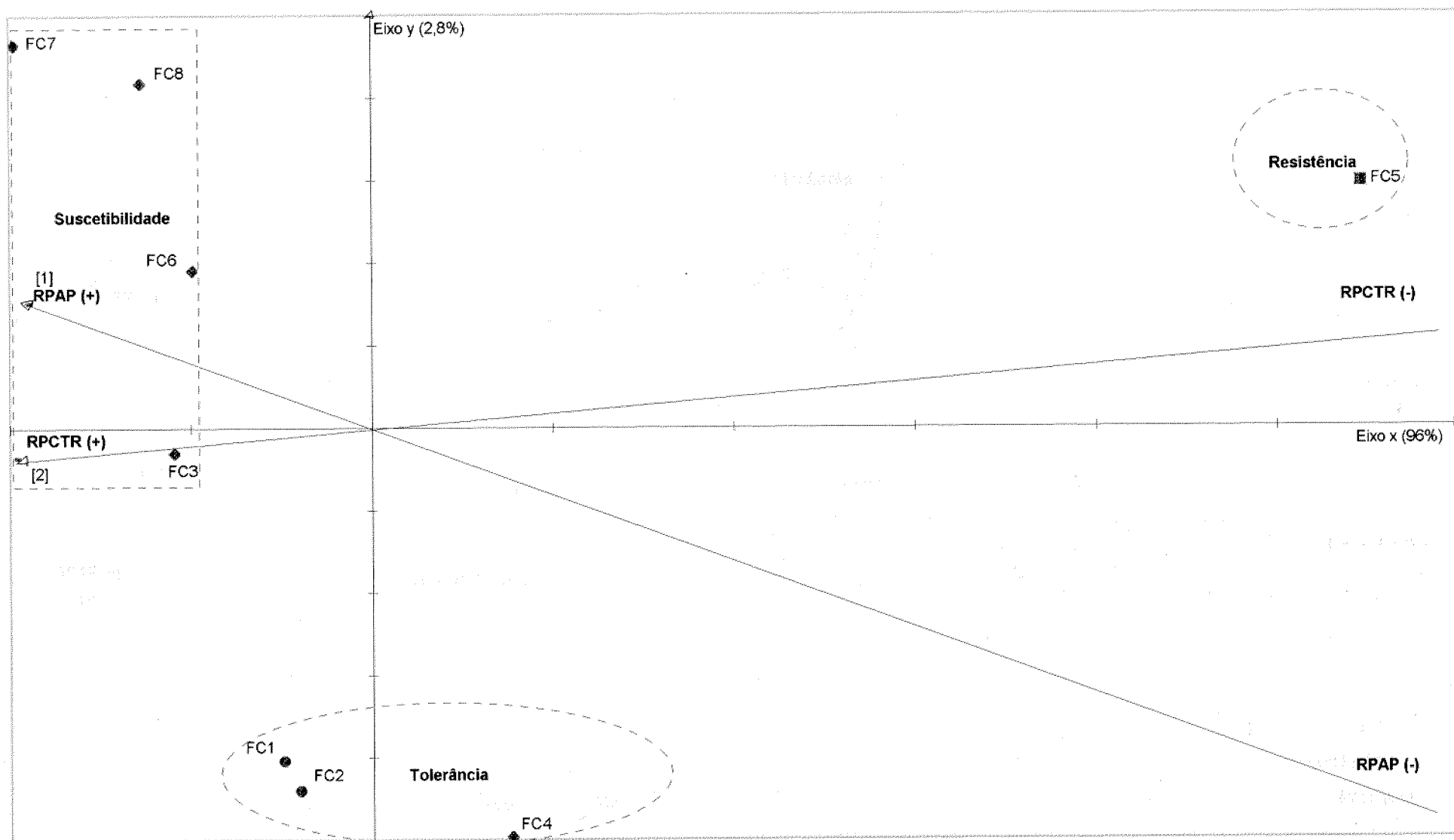


Figura 2. Diagrama de dispersão (análise de componentes principais) e classificação de reação ao alumínio de oito famílias clonais de capim-colonião. Observações: [1] redução percentual de altura de plântula e [2] de comprimento total de raiz.

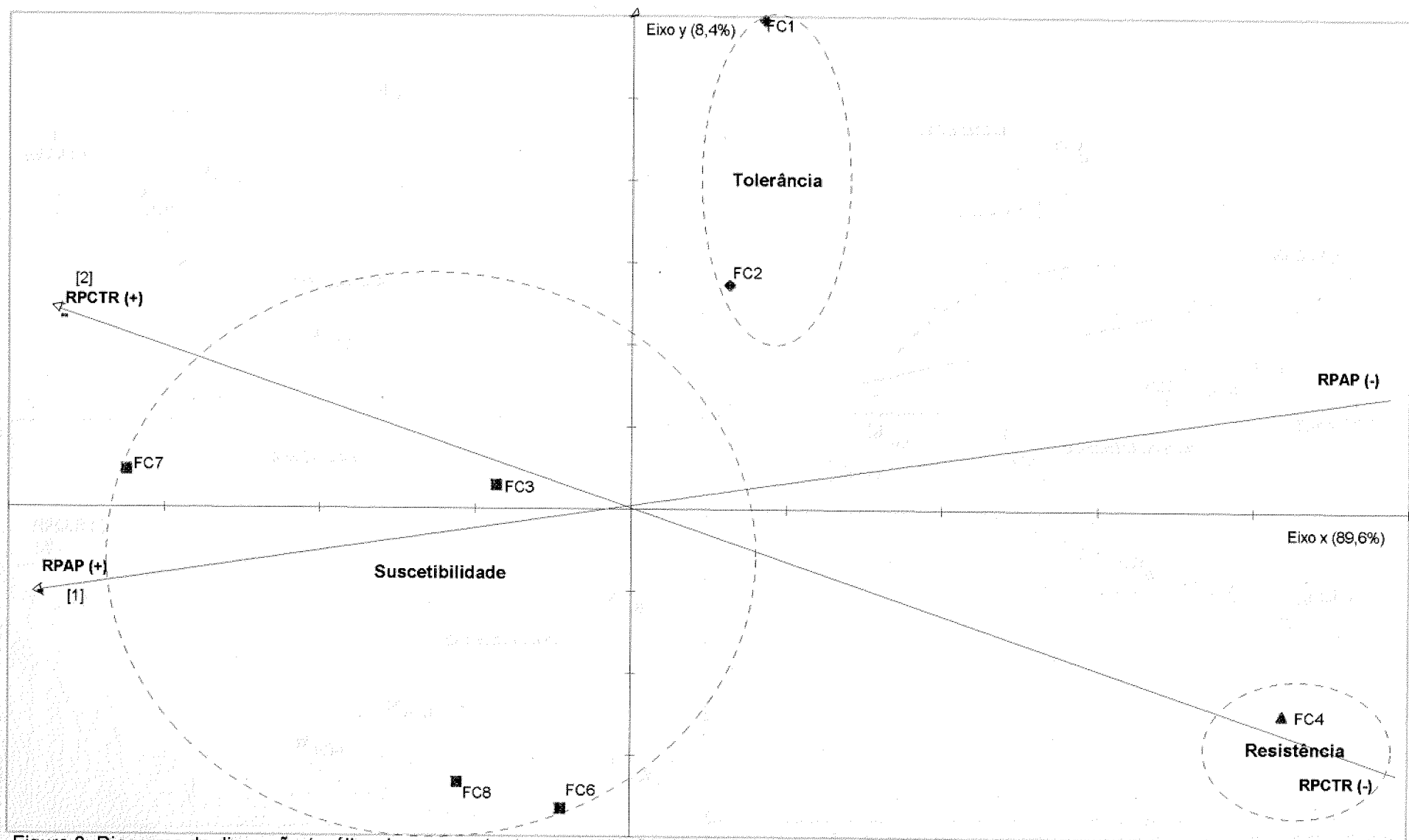


Figura 3. Diagrama de dispersão (análise de comp. princ.) e classificação de reação do alumínio de sete famílias clonais de capim-colonião (com exclusão da FC5) (Observações: [1] redução percentual de altura de plântula e [2] de comprimento total de raiz).

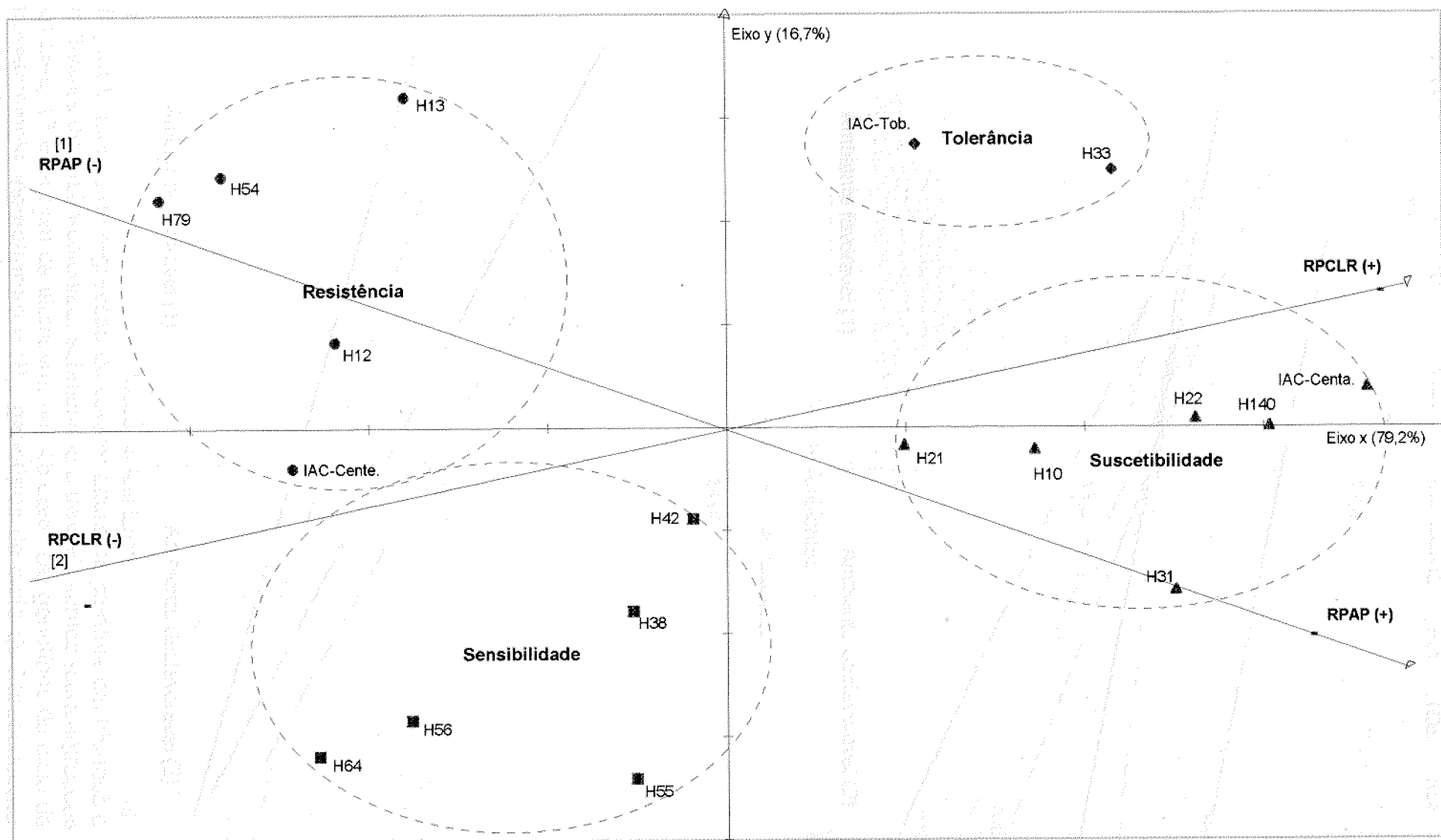


Figura 4. Diagrama de dispersão (análise de componentes principais) e classificação de reação do alumínio de 15 híbridos e três cultivares de capim-colonião (Observações: [1] redução percentual de altura de plântula e [2] de comprimento líquido de raiz).

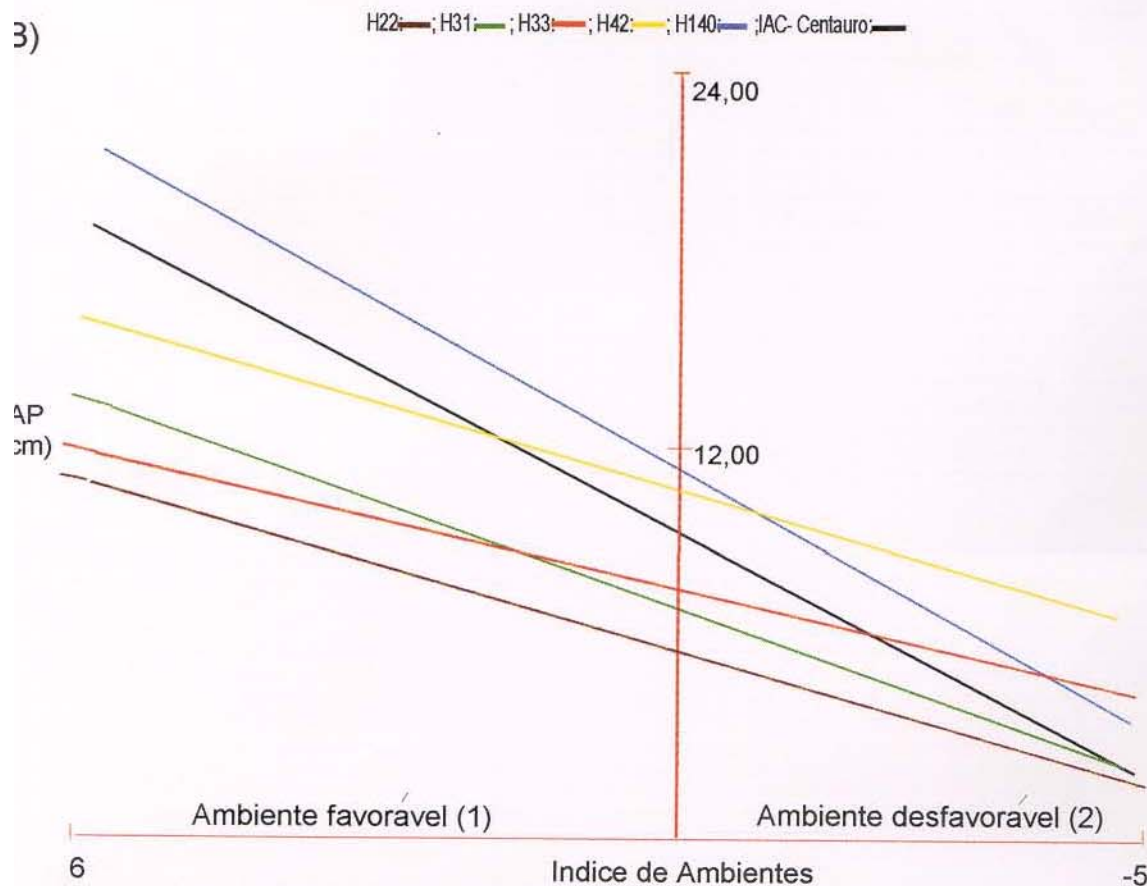
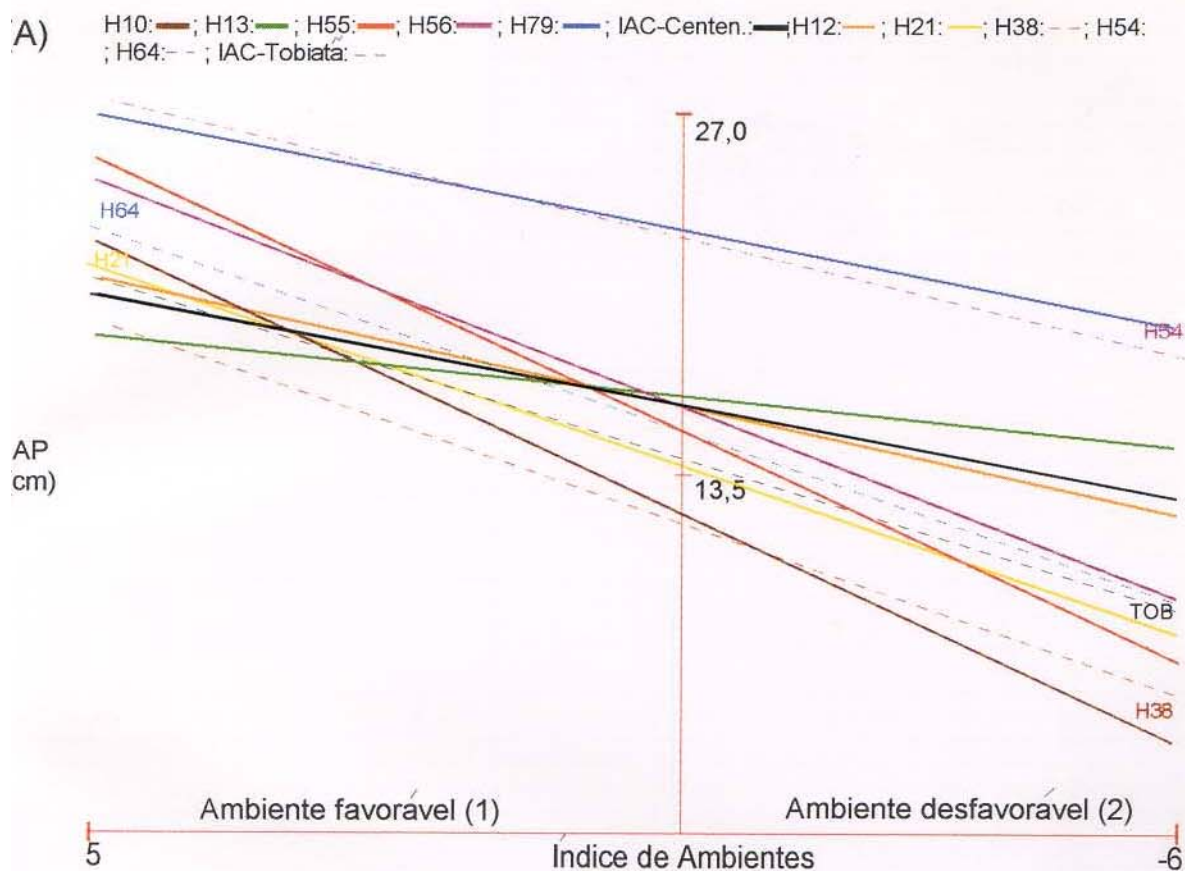


Figura 5. Linhas de regressão do caráter altura de plântula em híbridos e cultivares de capim-colonião, submetidos a três ambientes (concentrações de zero, 12 e 24 ppm de alumínio), aos 45 dias. (A) genótipos de ciclo de florescimento médio/tardio e (B), genótipos de ciclo de florescimento precoce/muito precoce (PATERNIANI, 1996).