

Estimativas da Interação Genótipo x Ambiente (GA) em Progênes de Sorgo Forrageiro Desenvolvidas pelo IPA – Instituto Agrônômico de Pernambuco

José Nildo Tabosa¹, Marcelo Renato Alves de Araújo², Fernando Lucas Torres de Mesquita¹, Fernando Gomes da Silva³, Marta Maria Amâncio do Nascimento¹, Ana Rita de Moraes Brandão Brito¹, Josimar Bento Simplício⁴ e Adriano Rodrigues Lima²

¹IPA, PE. nildo.tabosa@ipa.br marta.amancio@ipa.br Ana.rita@ipa.br ²Embrapa Caprinos e Ovinos. araujom@cnpq.embrapa.br adriano@cnpq.embrapa.br ³SEAGRI – Al. gomes_opuntia@yahoo.br ⁴UFRPE – UAST. josimar@uast.ufrpe.br

RESUMO - Em face da instabilidade climática do semiárido brasileiro, notadamente quanto à escassez e a distribuição errática das chuvas, o sorgo forrageiro que apresenta características de xerofilia detém a vantagem sobre a maioria das plantas forrageiras recomendadas para a região como suporte a pecuária, no atendimento de volumosos no período estival do ano. Foi utilizada a metodologia AMMI - “Additive Main Effects and Multiplicative Interaction” (Análise de Efeitos Aditivos Principais e Interação Multiplicativa) que investiga a interação genótipo ambiente, e tem sido usada por vários autores e em diversas culturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de 30 genótipos de sorgo forrageiro testados em seis ambientes do semi-árido de Pernambuco e de Alagoas usando a técnica AMMI visando recomendação. Os genótipos foram desenvolvidos pelo IPA a partir do método sequencial de pedigree, oriundos de cruzamentos e de autofecundações sucessivas até gerações avançadas. Através da análise infere-se que os genótipos G14, G22, G27 e G5 podem ser considerados estáveis e os genótipos G16 e G7 foram os que mais contribuíram com a interação GA.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, efeito multiplicativo, AMMI

Introdução

Sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L (Moench) além de ser adaptado às regiões semiáridas em decorrência de mecanismos de resistência a processos de estresse hídrico apresenta-se como uma alternativa de uso alimentar na pecuária regional. Em face da instabilidade climática do semiárido brasileiro, notadamente quanto à escassez e a distribuição errática das chuvas, essa espécie botânica de características xerofílicas, apresenta vantagem sobre a maioria das plantas forrageiras recomendadas para a região. É importante o desenvolvimento de cultivares adaptadas para esta região para que seja atingida um padrão substantivo de resposta. Deste modo esse padrão dos genótipos para os diversos ambientes é crucial para a recomendação de cultivares. Neste âmbito, objetivando a recomendação de genótipos, é importante verificar se a significação da interação genótipo-ambiente (GA) para um determinado caráter quantitativo é suficiente para recomendá-lo, levando em consideração apenas a média geral daquele genótipo, conforme relatado por Kang (1998).

Deve-se considerar que a interação genótipo-ambiente é naturalmente multivariada

(Guach et al.(1996). O uso de técnicas que levem este ponto em consideração é apropriada para fins de análise de experimentos aonde a interação genótipo-ambiente existe de forma significativa. O uso da metodologia AMMI para investigar a interação GA tem sido usada por vários autores em diversas culturas (Oliveira et al., 2003; Guerra et al., 2009; Rao et al., 2011; Sadeghi et al., 2011). O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento de 30 genótipos de sorgo forrageiro testados em seis ambientes usando a técnica AMMI.

Material e Métodos

O material genético foi testado no biênio 2008-2009, através de experimentos conduzidos no semiárido de Alagoas (estação experimental de Santana de Ipanema pertencente à Secretaria de Agricultura de Alagoas) e de Pernambuco (estações experimentais do IPA localizadas no municípios de São Bento do Una e Caruaru, na mesorregião do agreste e em Serra Talhada, na mesorregião do sertão), conforme descrito na Tabela 1. Os experimentos consistiram de 30 genótipos avaliados em blocos ao acaso com três repetições. A parcela experimental consistiu de quatro fileiras, com cinco metros de comprimento, com 15 plantas por metro linear. O espaçamento entre fileiras foi de 0,80 m. As observações foram realizadas nas duas fileiras centrais. Todas as plantas foram colhidas manualmente no estágio de grão pastoso. A variável avaliada foi produção em matéria seca (MS).

A adaptabilidade e a estabilidade de genótipos e ambientes foram submetidas a análise pelo modelo de efeitos aditivos principais e de interação multiplicativa (AMMI), de conformidade com Zobel et al., (1988). Esta metodologia representa um modelo linear e bilinear uni e multivariado onde é utilizada uma análise integrada em que os efeitos aditivos principais de genótipos e ambientes são discriminados pela análise de variância. Deste modo o efeito multiplicativo da interação $G \times A$ é decomposto também pela análise dos componentes principais (ACP).

A interpretação da adaptabilidade e da estabilidade foi realizada a partir da análise gráfica em biplot. No biplot AMMI1, a estabilidade é considerada no eixo horizontal, sendo considerados estáveis os genótipos e ambientes com valores próximos de zero. Por sua vez, a adaptabilidade é considerada no eixo vertical, onde são plotados os valores referentes aos genótipos e ambientes. Com o biplot AMMI2 é possível interpretar a estabilidade de genótipos e ambientes, bem como interações específicas.

Com exceção do genótipo Ponta Negra que é uma cultivar desenvolvida pela Embrapa

o restante são variedades desenvolvidas pelo Programa de Melhoramento de Sorgo Forrageiro do IPA (Tabela 2). As análises estatísticas foram realizadas através do pacote SAS software (1996).

Resultados e discussão

O teste de Bartlett indicou que as variâncias dos experimentos foram homogêneas para o caráter em questão permitindo assim que uma análise conjunta pudesse ser realizada. A análise conjunta indicou significação estatística para ambientes, genótipos e para a interação genótipo x ambiente ($p < 0,01$), conforme é mostrado na Tabela 3.

O procedimento AMMI demonstrou que grande porção da variância era devido ao Ambiente, entretanto tanto o efeitos dos genótipos como da interação GA, foram também significativos ($p < 0,01$). De acordo com Crossa et al., (1990) dois ou três eixos compõem o melhor valor preditivo. No presente estudo os dois primeiros ACP's (análise dos componentes principais) explica 66,33% do modelo. Entretanto, o terceiro ACP explica 19,72 da interação GA. De acordo com Zobel et al., (1988) os dois primeiros ACP's explicam realmente a interação GA e que o terceiro eixo não contém informações relevantes. Assim usando mais que dois eixos o valor predito do modelo reduz o poder de análise da AMMI (Oliveira et al., 2003; Guerra et al., 2009). Deste modo, os dois primeiros eixos capturam a porção relevante da interação GA.

Um gráfico baseado nos efeitos aditivos dos genótipos e do ambiente e nos efeitos multiplicativos da interação GA (Figura 01) foi construído. A abcissa representa os efeitos principais e o efeito multiplicativo da interação é representado no eixo das ordenadas que representa a primeira ACP. Os genótipos com os valores de ACP perto de zero são considerados estáveis, portanto o cultivar ideal tem altas produtividades e valores do ACP próximo a zero (Figura 1). Neste trabalho os genótipos G14, G22, G27 e G5, apresentam valores de produção de matéria seca, com produtividade média variando de 9,0 até 9,5 t.ha⁻¹ (Tabela 3) de ACP próximo de zero (Figura 1). Em face dessas associações, estes genótipos mencionados podem ser recomendados para plantio no semiárido. Os genótipos G18, G1 e G25, apresentam estabilidade, contudo as médias dos mesmos são menores que a média geral (8,9 t.ha⁻¹). Os genótipos que mais contribuíram com a interação GA são: G16, G7, G29, G10, e G23 (Figura 1). As estimativas dos efeitos da interação para cada combinação de genótipos com ambientes estão apresentados na Tabela 3. Valores positivos e elevados de GA indicam

uma boa adaptação relativa do genótipo ao ambiente específico, enquanto que valores negativos indicam uma má adaptação relativa do genótipo ao ambiente. Observa-se que os genótipos G7, G16 e G23, apresentam interação GA negativas quando o efeito do ambiente é positivo, como é o caso do ambiente de São Bento do Una 2008. Para o ambiente de Caruaru 2009, (outro ambiente positivo) além dos genótipos G7, G16 e G3, foi verificada a inclusão do G10. No caso do ambiente de Santana do Ipanema – 2009 outro ambiente positivo, os genótipos G10, G16 e G29 apresentam interações negativas. O genótipo G16 que obteve a maior produtividade apresentou efeitos GA negativos em 04 ambientes testados. O genótipo G30 (variedade da Embrapa) apresenta-se com uma variedade não estável e com produtividade inferior a vários genótipos desenvolvidos pelo IPA.

Conclusões

Os genótipos G14, G22, G27 e G5, podem ser recomendados para plantio no semiárido.

Os genótipos G16 e G7 de maiores produtividades são os que mais contribuiram para a interação GA e, portanto devem ser analisados em mais testes.

Referências

CROSSA, J.; GAUC, H.G.; ZOBEL, R. W. Additive main effects and multiplicativa analysis of two international maize cultivar. **Crop Science**, Madison, v.30, p. 493-500.

KANG, M.S. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. **Advances in agronomy**, San Diego, v.62, p. 199-252, 1998.

GUACH, H.G.; ZOBEL, R. W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M.S.; GAUCH, H. G (Ed.). **Genotype by environment interaction**. Boca Raton: CRC Press, 1996. v. 4, p.85-122.

GUERRA, E.P. ; OLIVEIRA, R.P de; DAROS, E.; ZAMBOM, J. L. C.; IDO, O. T.BESPALHOK FILHO, J. C. Stability and adaptability of early maturing sugarcane clones by AMMI analysis. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.9, p: 260-267. 2009.

OLIVEIRA, A.B. de; DUARTE, J. B.; PINHEIRO, J. B. Emprego da análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n. 3, p. 357-364, 2003.

RAO, P. S.; REDDY, P. S.; RATHORE, A.; REDDY, B. V. S.; PANWAR, S. Application, CGE biplot and AMMI model to evaluate sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) hybrids for genotype x environment interaction and seasonal adaptation. **Indian Journal of Agriculture Sciences**, New Delhi v.81, n. 5, p. 438-444. 2011.

SADEGHI, S.M. ; SAMIZADEH, H. ; AMIRI, E. ; ASHOURI, M. Additive main effect and multiplicative interactions (AMMI) analysis of dry leaf yield in tobacco hybrids across environments. **African Journal of Biotechnology**, v.10, n.21, p. 4358-4364, 2011.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user`s guide, second edition**. SAS Institute Inc., Cary. NC . 1996.

ZOBEL, R.W.; WRIGHT, M.J.; GAUCH, H.G.; Statistical analysis of yield trial. **Agronomy journal**, v.80, p.388-393. 1988.

Tabela 1. Dados climáticos e coordenadas geográficas dos locais de testes.

Ambientes	Altitude (m)	Latitude (sul)	Longitude (WGr)	T Max (°C)	T Min (°C)	T Med (°C)	Precipitação no ciclo
São Bento do Una - PE	630	08°31'16" "	36°33'00"	35,6	11,0	23,8	2008: 267 mm
Caruaru - PE	537	08°34'38" "	38°00'00"	36,5	16,0	23,1	2008: 404 mm 2009: 220 mm
Serra Talhada - PE	500	07°59'00" "	38°19'16"	38,7	15,6	26,6	2009: 490 mm
Santana do Ipanema - AL	272	09°21'49" "	37°14'54"	43,0	20,0	29,0	2008: 580 mm 2009: 490 mm

T Max – Temperatura Máxima; T Min – Temperatura Mínima; T Med – Temperatura média

Tabela 2. Pedigree e outras denominações dos genótipos avaliados.

Nº ordem	Pedigree	Cruzamento/ Outros	Nº ordem	Pedigree	Cruzamento/outros
01	SF-25	Variedade comercial	16	CCSF16-41	IPA 1288 x IPA 1158
02	02-03-01	Variedade comercial	17	CCSF17-52	IPA 1288 x IPA 1158
03	43-70-02	Variedade sacarina	18	CCSF18-63	IPA 1288 x IPA 1158
04	CCSF04-10	IPA 1288 x IPA 1158	19	CCSF19-80	IPA 1288 x IPA 1158
05	CCSF05- 25	IPA 1288 x IPA 1158	20	CCSF20-ST87	IPA 1288 x IPA 1158
06	CCSF06-38	IPA 1288 x IPA 1158	21	F Preto	Derivada do IPA 467-4-2
07	CCSF07-41	IPA 1288 x IPA 1158	22	F chocolate	Derivada do IPA 467-4-2
08	CCSF08-41	IPA 1288 x IPA 1158	23	F Tese - 25	Mutante de radiação gama
09	CCSF09-46	IPA 1288 x IPA 1158	24	F Tese - 33	Mutante de radiação gama
10	CCSF10-68	IPA 1288 x IPA 1158	25	F Vermelho	Duplo propósito
11	IPA SF 11	IPA 1288 x IPA 1158	26	T6(467-4-2 R1)	Mutante de radiação gama
12	CCCS12-18	IPA 1288 x IPA 1158	27	T14(02-0301 R1)	Mutante de radiação gama
13	CCSF13-24	IPA 1288 x IPA 1158	28	T34(sudan R1)	Mutante de radiação gama
14	CCSF14-25	IPA 1288 x IPA 1158	29	SV - Araripina	Duplo propósito

15	SF 15	Var. semi-doce	30	Ponta Negra - RN	Duplo propósito
----	-------	----------------	----	------------------	-----------------

Tabela 3. Análise de variância para produção de material seca- MS ($t\cdot ha^{-1}$) de 30 genótipos forrageiros em seis ambientes do semiárido de Pernambuco e Alagoas, utilizando a metodologia AMMI – “Additive Main Effects and Multiplicative Interaction” (Análise de Efeitos Aditivos Principais e Interação Multiplicativa)

FV	GL	SQ	% SQ	QM	F
Ambientes (A)	5	601.272		120.254	57.76**
Genótipos (G)	29	564.804		19.476	9.35**
Interação G x A	145	1125.780		7.764	3.73**
ACP 1	33	446.411	39.65	13.528	6.50**
ACP 2	31	300.359	26.68	9.689	4.65**
ACP 3	29	113.309	19.72	7.665	3.68**
Resíduo	348	724.536		2.082	

** ($p < 0,01$); ACP- % da decomposição soma de quadrado da interação GA nos eixos 1, 2, e 3.

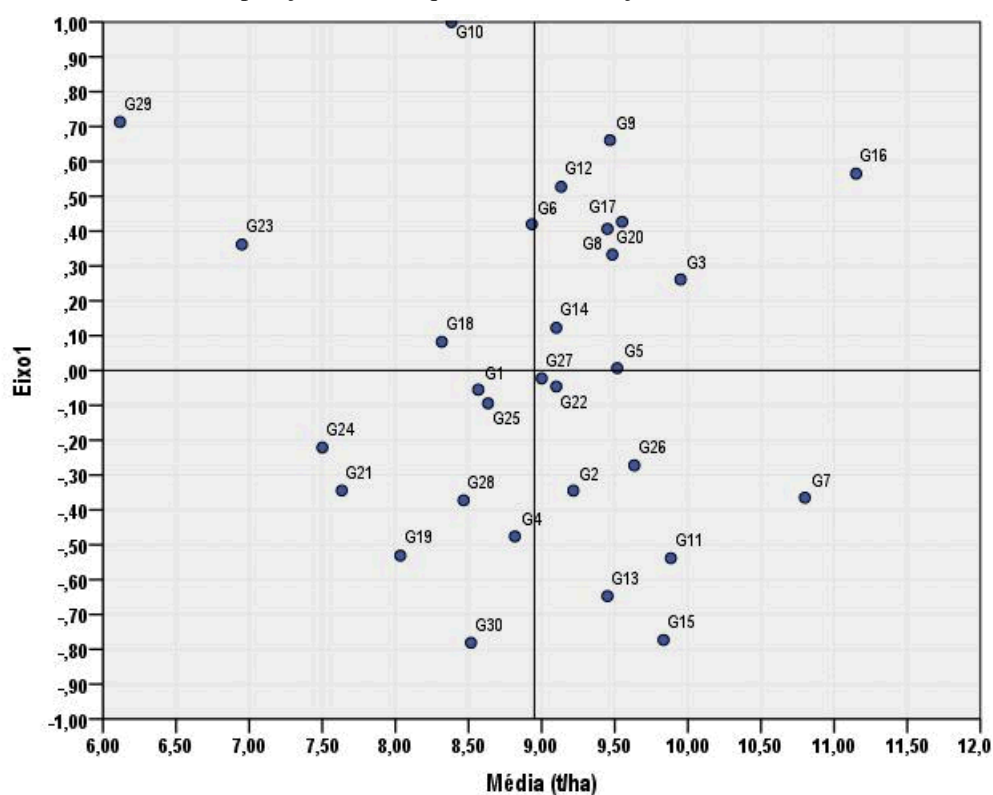


Figura 1. Análise AMMI – “Additive Main Effects and Multiplicative Interaction” - Análise de Efeitos Aditivos Principais e Interação Multiplicativa para os genótipos testados e sua contribuição ao primeiro eixo de ACP-análise dos componentes principais.

Tabela 03. Estimativas do efeito da interação genótipo x ambiente (GA), média geral e efeitos ambientais - 30 genótipos x seis ambientes.

Genótipos	AMBIENTES						média geral (kg.ha ⁻¹)
	SBU 2008	Car 2008	Car 2009	ST 2009	SI 2008	SI 2009	
1	0,990	3,023	-2,043	-1,490	-0,387	-0,097	8.567
2	0,340	2,373	-2,593	-2,640	1,563	0,953	9.217
3	0,207	-0,360	0,874	1,327	-0,970	-1,080	9.950
4	1,040	-1,727	1,807	-1,740	0,163	0,453	8.817
5	-0,360	0,973	-1,193	-0,540	1,663	-0,547	9.517
6	-0,876	-0,243	-0,509	2,144	-0,153	-0,363	8.933
7	-1,043	0,390	-1,676	-1,323	0,780	2,870	10.800
8	-1,593	1,340	0,374	1,827	-0,070	-1,880	9.450
9	-1,310	2,523	-1,943	2,410	-0,387	-1,297	9.467
10	0,474	1,407	-2,859	3,394	-0,303	-2,113	8.383
11	-1,226	-0,193	2,041	-1,606	0,197	0,787	9.883
12	0,790	0,923	-0,443	0,710	0,413	-2,397	8.967
13	1,307	0,440	-0,426	-3,473	1,130	1,020	9.450
14	1,257	0,490	-1,176	-0,123	-0,120	-0,330	9.100
15	-1,076	0,657	1,791	-3,156	1,347	0,437	9.833
16	-0,993	0,240	-0,026	2,827	-1,070	-0,980	11.150
17	0,107	-1,960	0,374	2,427	-0,470	-0,480	9.550
18	0,840	1,073	1,607	-0,140	-0,837	-2,547	8.317
19	-0,576	0,957	2,491	-2,056	-0,453	-0,363	8.033
20	0,374	-1,593	-0,559	1,494	0,897	-0,613	9.483
21	-0,276	0,957	1,391	-1,756	0,847	-1,163	7.633
22	-1,843	0,590	0,924	0,377	-0,020	-0,030	9.100
23	-0,393	-2,060	-0,626	2,527	-0,970	1,520	6.950
24	-0,843	-2,410	2,424	0,677	-1,620	1,770	7.500
25	0,524	-0,243	-1,209	-0,756	1,147	0,537	8.633
26	-1,576	-0,043	1,691	-0,256	-0,653	0,837	9.633
27	1,057	-2,210	-0,376	0,277	-0,120	1,370	9.000
28	0,890	-1,877	1,557	-0,790	-1,587	1,803	8.467
29	3,840	-2,727	-2,893	2,160	0,263	-0,647	6.117
30	-0,060	-0,727	1,207	-2,740	-0,237	2,553	8.517
Efeito Ambiental	-1,857	1,010	1,376	-0,577	-0,080	0,130	
Média ambiental	7,090	9,957	10,323	8,370	8,867	9,077	8,947

SBU – São Bento do Una – PE, CAR – Caruaru – PE; ST – Serra talhada – PE; SI – Santana – AL