

# EFEITOS GÊNICOS, HETEROSE E DEPRESSÃO ENDOGÂMICA EM CARACTERES DE SORGO FORRAGEIRO <sup>(1)</sup>

CARLOS ALBERTO SCAPIM <sup>(2)</sup>, JOSÉ AVELINO SANTOS RODRIGUES <sup>(3)</sup>, COSME DAMIÃO CRUZ <sup>(4)</sup>,  
PAULO ROBERTO CECON <sup>(5)</sup>, JOSÉ IVO RIBEIRO JÚNIOR <sup>(5)</sup>  
e ALESSANDRO DE LUCCA BRACCINI <sup>(2)</sup>

## RESUMO

Dois cruzamentos envolvendo três linhagens de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench): BR 007A x BR 501R e BR 008A x BR 501R originaram dois híbridos forrageiros: BR 601 e BR 602. Estes, em conjunto com suas gerações avançadas por autofecundação  $F_2$  e  $F_3$ , constituindo nove genótipos, foram avaliados em duas épocas de plantio (normal e sucessão), em diversos caracteres de rendimento e qualidade da forragem, obtendo-se as estimativas dos efeitos gênicos, heterose média, heterobeltiose e depressão endogâmica nas gerações  $F_2$  e  $F_3$ . Os resultados permitiram as seguintes conclusões: (a) no plantio em sucessão, comparativamente ao normal, os híbridos forrageiros apresentaram menor altura de planta, florescimento precoce, redução na matéria verde e no rendimento da massa seca e maior porcentagem protéica, além de maior proporção do colmo e menor de panícula; (b) para os dois híbridos forrageiros, as estimativas da heterose foram positivas para rendimento de massa seca e negativas para proteína, nas duas épocas de plantio; (c) não houve, em geral, depressão endogâmica, com exceção da alteração do rendimento de grãos, na geração  $F_2$  do híbrido BR 602, no plantio normal, inviabilizando a utilização comercial das sementes  $F_2$ 's; (d) os efeitos aditivos predominaram para a maioria dos caracteres, no cruzamento forrageiro BR 007A x BR 501R, ao passo que os efeitos aditivos e dominantes foram igualmente importantes para a determinação dos caracteres de rendimento, para o cruzamento forrageiro BR 008A x BR 501R; (e) os desvios de dominância explicaram as heteroses significativas de vários caracteres.

**Termos de indexação:** sorgo forrageiro, efeitos gênicos, heterose, depressão endogâmica.

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em 1<sup>a</sup> de abril de 1997 e aceito em 30 de março de 1998.

<sup>(2)</sup> Departamento de Agronomia/UEM - 87020-900 Maringá (PR).

<sup>(3)</sup> EMBRAPA-CNPMS - 35701-970 Sete Lagoas (MG).

<sup>(4)</sup> Departamento de Biologia Geral/UFV - 36571-000 Viçosa (MG).

<sup>(5)</sup> Departamento de Informática/UFV - 36571-000 Viçosa (MG).



## ABSTRACT

GENETIC EFFECTS, HETEROSIS AND INBREEDING DEPRESSION  
IN FORAGE SORGHUM CHARACTERS

Two crosses involving three sorghum lines (*S. bicolor* L. Moench) BR 007A x BR 501R and BR 008A x BR 501R resulted in two forage hybrids: BR 601 and BR 602. The hybrids and their generations  $F_2$  and  $F_3$ , in total of nine genotypes, were evaluated in two planting dates (normal and second season) as to several yield and forage quality characters: genetic effects, mid-parent heterosis, heterobeltiosis and inbreeding depression in  $F_2$  and  $F_3$  generations were evaluated. The following conclusions were obtained: (a) compared to the normal planting, the grain sorghum hybrids showed in second season, smaller plant height, earlier flowering, smaller green, and dry matter weight and higher protein content, stalk proportion and smaller panicle proportion; (b) heterosis for dry matter was positive and negative for protein at the two planting dates of the two hybrids; (c) inbreeding depression was positive for the  $F_2$  generation of the BR 602 hybrid at normal planting date, indicating that the commercial use of  $F_2$ 's seeds is not recommended; (d) the additive genetic effects were predominant for most of the characters, of the hybrid of BR 007A x BR 501R, used as grain dominant effects were important for yield characters determination at the two planting dates in forage hybrid BR 008A x BR 501R; (e) dominance effects explained most of the significant heterosis of several characters.

**Index terms:** forage sorghum, genetic effects, heterosis, inbreeding depression.

## 1. INTRODUÇÃO

O sorgo é, principalmente, uma planta forrageira por vocação (Zago, 1991). No entanto, de certa maneira, é desprezada no Brasil. Enquanto isso, em outros países, como E.U.A, Argentina, México e Austrália, cresce o consumo de sua forragem. A cultura do sorgo contribui aproximadamente com 10-12% da área cultivada com silagem no Brasil (Zago, 1991). Apesar disso, o sorgo forrageiro apresenta expectativa de crescimento, em virtude da demanda pela bovinocultura, em que poderá constituir alternativa, por exemplo, para o semi-árido nordestino, devido a sua característica xerófila e por recuperar-se após estresse, assegurando a produção sob condições adversas. A parceria sorgo-boi pode tornar-se o grande elo entre a cultura de sorgo e o Brasil (Ribas, 1992).

O cultivo do sorgo forrageiro baseia-se principalmente no uso de sementes híbridas. Apesar de ser uma espécie autógama, seu vigor híbrido é largamente explorado nos programas de melhoramento (Rodrigues, 1990). Manifestações de vigor híbrido em

sorgo foram descritas pela primeira vez em 1927 por Conner & Karper (apud Quinby, 1974).

Quinby (1963) já afirmava que a heterose no sorgo, em termos de atributos morfológicos, é consequência de floração precoce, maior perfilhamento e altura de planta, colmos e folhas, maior produtividade de grãos e de forragem e panículas mais desenvolvidas. Acrescente-se menor teor protéico, com base em trabalhos de Singhanian et al. (1977) e Finkner et al. (1981).

É natural pensar em heterose e, automaticamente, questionar sobre depressão endogâmica.

Segundo Ross (1973), o sorgo apresenta pequena depressão endogâmica quando autofecundado. No entanto, trabalhos mostram valores consideráveis de endogamia, mormente para o caráter rendimento de grãos, quando se passa de  $F_1$  para  $F_2$ , de  $F_2$  para  $F_3$  e gerações mais avançadas (Goyal & Joshi, 1984; Geeta & Rana, 1987; Reddy & Joshi, 1993).

Outro estudo de grande importância para o melhoramento de plantas é a avaliação da natureza e magnitude dos efeitos gênicos que controlam os

vários caracteres quantitativos. Nessa linha de raciocínio, é fundamental investigar, na fração genética, as proporções que podem ser atribuídas a fatores gênicos aditivos, dominantes e epistáticos. Essa avaliação está intimamente relacionada com os objetivos do programa de melhoramento, e esses tipos de ação gênica podem ser usados para explicar a expressão heterótica, assim como a depressão endogâmica (Wilson et al., 1978; Singhanía, 1980; Finkner et al., 1981).

Em função do exposto, os objetivos do presente trabalho são: determinar a magnitude das estimativas da heterose e da depressão endogâmica para caracteres de rendimento e qualidade de dois cruzamentos de sorgo forrageiro, em duas épocas de plantio (normal e sucessão); avaliar a uniformidade agrônômica de lavouras de sorgo forrageiro formadas a partir de sementes obtidas de gerações avançadas de híbridos; avaliar a natureza e magnitude das estimativas dos efeitos gênicos que controlam caracteres quantitativos importantes para o sorgo forrageiro e a associação desses efeitos nas manifestações de heterose e depressão endogâmica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O material foi constituído de três linhagens progenitoras de sorgo (BR 007B, BR 501R e BR 008B) dois híbridos  $F_1$ 's (BR 601 e BR 602), resultantes, respectivamente, dos cruzamentos BR 007A x BR 501R e BR 008A x BR 501R e as gerações  $F_2$  e  $F_3$  obtidas a partir da autofecundação desses híbridos.

Realizaram-se, no ano agrícola 1990/91, em Janaúba (MG), os cruzamentos para obtenção dos híbridos  $F_1$ 's empregando-se blocos de cruzamentos com cinco fileiras de 5 m de cada progenitor de sorgo. Em novembro, ano agrícola 91/92, em Sete Lagoas (MG), plantaram-se os dois híbridos  $F_1$ 's para autofecundação, obtendo-se as sementes  $F_2$  de cada cruzamento. Nessa fase, utilizaram-se dez fileiras de 5 m cada uma. Em abril do mesmo ano agrícola, em Janaúba, plantaram-se amostras das sementes  $F_2$ , para autofecundação e obtenção das sementes  $F_3$  de cada cruzamento.

Realizaram-se dois experimentos: o primeiro plantio, em época normal, em 9-12-92, e o segundo em sucessão, em 6-3-93. Em ambos, empregou-se o delineamento em blocos ao acaso, com nove tratamentos, sendo três linhagens progenitoras (BR 007B, BR 501R e BR 008B), dois híbridos  $F_1$ 's (BR 601 e BR 602), e as gerações  $F_2$  e  $F_3$  obtidas a partir da autofecundação desses híbridos.

Usaram-se seis repetições, sendo três destinadas à coleta de dados para os caracteres de rendimento e, três, para os caracteres de qualidade da forragem. Apenas altura de planta e florescimento foram avaliados nas seis repetições. Cada parcela constituiu-se de seis fileiras de 7 m, usando-se como bordadura as duas laterais e 1,0 m e 1,0 m de cada extremidade das fileiras. Empregou-se o espaçamento de 0,7 m entre fileiras e quinze plantas por metro de sulco, totalizando uma área bruta de 29,4 m<sup>2</sup> por parcela, sendo 14,0 m<sup>2</sup> de área útil. Efetuou-se a coleta de dados no campo e no laboratório, para os dois experimentos, sendo avaliados os caracteres seguintes:

**Altura de planta:** Avaliada em todas as plantas da área útil da parcela, medindo-se (cm) do nível do solo até o ápice da panícula;

**Florescimento:** O número de dias decorridos do plantio até a data em que 50% das flores existentes na panícula estiverem polinizadas;

**Fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (% base seca):** As determinações seguiram as recomendações de Van Soest (1963);

**Hemicelulose (% base seca):** O valor foi obtido pela diferença entre FDN e FDA;

**Carboidratos estruturais (% base seca):** A avaliação seguiu as recomendações da AOAC (1984);

**Proteína (% da base seca):** O método adotado foi o semimicro de Kjeldhal, utilizando o fator 6,25 de conversão;

**Matéria seca (%):** A avaliação seguiu as recomendações da AOAC (1984);

**Proporção de colmo (PC):** Obtido em amostra de doze plantas da seguinte forma:

$$PC = \frac{\text{Massa da amostra do colmo}}{\text{Massa da amostra do colmo} + \text{Massa da amostra da folha} + \text{Massa da amostra da panícula}}$$

**Proporções de folha e panícula:** idênticas ao anterior;

**Matéria verde total (t/ha):** Massa de matéria verde (kg) x 0,714286 (fator de correção para t/ha);

**Rendimento de grãos (t/ha):** Massa de grãos (kg) x 0,714286;

**Rendimento da massa seca total (t/ha):** Matéria seca x matéria verde total /100.

Na análise da variância, adotou-se a técnica da decomposição da soma de quadrados para tratamentos em contrastes ortogonais, testando-se: pais,  $F_1$ 's,  $F_2$ 's,  $F_3$ 's, pais vérsus  $F_1$ 's +  $F_2$ 's +  $F_3$ 's,  $F_1$ 's vérsus  $F_2$ 's +  $F_3$ 's e  $F_2$ 's vérsus  $F_3$ 's.

Com as médias, efetuaram-se os cálculos, por meio das fórmulas tradicionais, da heterose média, da heterobeltiose e da depressão endogâmica nas gerações  $F_2$  e  $F_3$ . Para análise de efeitos gênicos, procedeu-se conforme Hayman (1958), empregando-se os testes de escala desenvolvidos por Mather & Jinks (1971).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise da variância revelaram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) entre as médias das populações para fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), carboidratos, proteína, proporção de colmo, folha e panícula, matéria verde e rendimento de grãos, no plantio em época normal. No plantio em sucessão, não houve diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) entre médias de populações para a maioria dos caracteres, exceto para matéria seca, proporção de colmo e panícula, matéria verde e rendimento de grãos (dados não apresentados).

A decomposição da soma de quadrados de populações, em contrastes ortogonais, revelou que grande parte da variância das populações se deve às diferenças entre pais e pais vérsus  $F_1 + F_2 + F_3$ , suge-

rindo heteroses significativas. No entanto, não houve grandes diferenças entre as gerações avançadas por autofecundação, permitindo inferir que a depressão endogâmica deverá ocorrer em poucas variáveis.

Os caracteres altura da planta e florescimento apresentaram estimativas de heterose e da depressão endogâmica não significativas (Quadros 1, 2, 3 e 4). Para o caráter altura da planta, os coeficientes de variação, nas duas épocas de plantio, foram altos, o que talvez explique a não-significância de heterose e da depressão endogâmica.

Em relação ao caráter matéria verde total, houve redução de 49% e 31% nas médias dos híbridos BR 601 e BR 602, respectivamente, do plantio normal (32,62 e 33,42 t/ha) para o plantio em sucessão (16,62 e 23,00 t/ha) (Quadros 1 e 2). As reduções eram esperadas em razão da sensibilidade do sorgo ao fotoperíodo e, em menor escala, da temperatura. Essas produções, sobretudo no plantio normal, são satisfatórias. No entanto, existem relatos de potencial de rendimento, no Brasil, até de 98 t/ha de massa verde total, se for considerada a rebrota adequadamente manejada.

Ainda em relação à matéria verde total, as estimativas da heterobeltiose foram negativas e de média magnitude (-23,8 e -22,0%) no plantio normal. A explicação para essas estimativas reside na produção elevada do progenitor BR 501R (42,81 t/ha), em relação às fêmeas BR 007B com 25,50 t/ha e BR 008B com 19,83 t/ha (Quadros 1 e 2).

Já em sucessão, para o híbrido BR 601, a heterobeltiose obtida foi não significativa. Em relação ao híbrido BR 602, a estimativa foi positiva e de alta magnitude (39,6%). A explicação é a queda de rendimento, de 42,81 t/ha para 15,09 t/ha, do plantio normal para aquele em sucessão. Acrescenta-se que não há evidência de depressão endogâmica (Quadros 1, 2, 3 e 4). Existem relatos de heterose positiva para matéria verde total (Paroda et al., 1974; Lodhi et al., 1977; Singhania et al., 1977) e de depressão endogâmica nas gerações  $F_2$  e  $F_3$  (Lodhi et al., 1977).

Em relação ao rendimento da massa seca total, houve redução de 59,5 e 35,0% nas médias dos

Quadro 1. Médias dos pais, do híbrido BR 601 e estimativas da heterose média e da heterobeltiose, em duas épocas de plantio: normal (N) e sucessão (S), em Sete Lagoas (MG), 1993

Caracteres	Parentais				Híbrido BR 601		Heterose em relação à média dos parentais (%)		Hetero- beltiose (%)	
	BR 007 B		BR 501 R		N	S	N	S	N	S
	N	S	N	S						
Altura da planta (m)	1,56	1,47	1,50	1,53	1,85	1,32	21,0ns	-12,0ns	18,6ns	-13,7ns
Dias para o florescimento	76,00	66,00	77,00	67,00	78,00	67,00	2,0ns	0,7ns	1,3ns	0,0ns
FDN (%)	49,08	57,66	62,74	62,65	68,02	57,96	21,7*	-3,6ns	8,4ns	-7,5ns
FDA (%)	26,08	30,83	35,43	36,25	39,04	34,58	27,0*	3,1ns	10,2ns	-4,6ns
Lignina (%)	1,29	1,56	1,97	2,17	1,96	1,83	20,2ns	-2,0ns	-0,5ns	-15,7ns
Hemicelulose (%)	23,00	26,84	27,30	26,40	28,98	23,37	15,2ns	-12,2*	6,1ns	-13,0*
Carboidratos (%)	39,19	34,48	28,96	30,59	29,37	31,93	-13,8*	-1,9ns	-25,0*	-7,4ns
Proteína (%)	8,58	10,94	6,08	11,44	5,77	11,08	-21,3*	-1,0ns	-32,7*	-3,1ns
Matéria seca (%)	31,60	28,63	26,30	22,13	29,33	23,50	1,3ns	-7,4ns	-7,2ns	-18,0*
Proporção de colmo	0,53	0,61	0,80	0,70	0,74	0,72	9,8ns	8,4*	-8,7ns	1,4ns
Proporção de folha	0,12	0,11	0,08	0,11	0,07	0,09	-40,0*	-18,2*	-50,0*	-18,2ns
Proporção de panícula	0,33	0,26	0,11	0,18	0,19	0,19	-13,6ns	-13,6ns	-42,4*	-27,0*
Matéria verde total (t/ha)	25,50	15,76	42,81	15,09	32,62	16,62	-4,5ns	7,7ns	-23,8*	5,4ns
Rendimento de grãos (t/ha)	2,39	2,31	1,00	1,38	1,29	2,20	-24,0ns	19,2ns	-46,0*	-4,8ns
Rend. massa seca total (t/ha)	7,98	4,47	11,24	3,33	9,52	3,85	-1,0ns	-1,3ns	-15,3ns	-14,0ns

\*: Significativamente diferente de zero, ao nível de 5%, pelo teste t.

ns : Não significativo.

Quadro 2. Médias dos pais, do híbrido forrageiro BR 602 e estimativas da heterose média e da heterobeltiose, em duas épocas de plantio: normal (N) e sucessão (S), em Sete Lagoas (MG), 1993

Caracteres	Parentais				Híbrido BR 602		Heterose em relação à média dos parentais (%)		Hetero- beltiose (%)	
	BR 501 R		BR 008 B		N	S	N	S	N	S
	N	S	N	S						
Altura da planta (m)	1,50	1,53	1,22	1,20	1,98	1,50	45,5ns	10,0ns	32,0ns	-2,0ns
Dias para o florescimento	77,00	67,00	74,00	67,00	79,00	69,00	4,7ns	30,0ns	2,6ns	3,0ns
FDN (%)	62,74	62,65	59,25	59,14	65,31	60,83	7,1ns	-0,1ns	4,1ns	-3,0ns
FDA (%)	35,43	36,25	34,30	31,95	42,57	35,71	22,1*	4,7ns	20,2*	-1,5ns
Lignina (%)	1,97	2,17	1,50	1,60	2,00	1,97	15,3ns	4,5ns	1,5ns	-9,2ns
Hemicelulose (%)	27,30	26,40	24,95	27,18	22,74	25,12	-13,0ns	-6,2ns	-16,7ns	-7,6ns
Carboidratos (%)	28,96	30,59	34,33	33,90	24,82	30,40	-21,6*	-5,7ns	-27,7*	-10,3ns
Proteína (%)	6,08	11,44	8,48	10,22	4,81	10,64	-34,0*	-1,7ns	-43,3*	-7,0ns
Matéria seca (%)	26,30	22,13	30,53	27,93	25,20	23,76	-11,3ns	-5,1ns	-17,4ns	-15,0*
Proporção de colmo	0,80	0,70	0,56	0,59	0,70	0,74	3,0ns	14,7*	-12,5ns	5,7ns
Proporção de folha	0,08	0,11	0,09	0,12	0,07	0,10	-29,4*	-13,0ns	-33,3*	-16,7ns
Proporção de panícula	0,11	0,18	0,34	0,28	0,23	0,14	2,2ns	-39,1*	-32,3ns	-50,0*
Matéria verde total (t/ha)	42,81	15,09	19,83	16,47	33,42	23,00	6,7ns	45,7*	-22,0*	39,6*
Rendimento de grãos (t/ha)	1,00	1,38	1,78	1,91	3,13	1,39	125,2*	-15,5ns	75,8*	-27,2*
Rend. massa seca total (t/ha)	11,24	3,33	6,18	4,58	8,40	5,46	-3,5ns	38,0*	-25,2*	19,2ns

\*: Significativamente diferente de zero, ao nível de 5%, pelo teste t.

ns: Não significativo.

híbridos BR 601 e BR 602, respectivamente, do plantio normal (9,52 e 8,40 t/ha) para o plantio em sucessão (3,85 e 5,46 t/ha) (Quadros 1 e 2). As razões para essa queda de rendimento já foram discutidas.

Schaffert & Trevisan (1979) relataram rendimentos da massa seca total entre 4 e 23t/ha abrangendo os Estados de MG, SP e RS. Farias et al., em 1976, (apud Santos, 1991), realizando experimentos em seis locais de Pernambuco, com doze cultivares de sorgo forrageiro, obtiveram produções de 3,80 a 17,76 t/ha.

Ressalta-se que valores de heterobeltiose foram não significativos, com exceção do valor negativo de -25,2% no BR 602, no plantio normal (Quadros 1 e 2). Os valores de depressão endogâmica foram não significativos (Quadros 3 e 4). Existem relatos de heterose positiva para esse caráter (Paroda et al., 1974; Lodhi et al., 1977; Singhanian et al., 1977) e de depressão endogâmica nas gerações  $F_2$  e  $F_3$  (Lodhi et al., 1977).

Em relação ao rendimento de grãos, houve aumento de 49% e redução de 55,5%, nas médias dos híbridos BR 601 e BR 602, respectivamente, do plantio normal (1,29 e 3,13 t/ha) para o plantio em sucessão (2,20 e 1,39 t/ha) (Quadros 1 e 2). Para o híbrido BR 601, obteve-se uma estimativa de heterobeltiose negativa (-46,0%), no plantio normal, enquanto para o BR 602, a estimativa foi positiva e de alta magnitude (75,8%), no plantio normal; foi, contudo, negativa e de média magnitude (-27,2%) no plantio em sucessão (Quadros 1 e 2).

A importância do rendimento de grãos em sorgo forrageiro deve-se a que a produção animal cresce com o aumento do conteúdo de grãos na forragem. Nesse sentido, a maior percentagem de panícula, além de contribuir para o aumento na qualidade da silagem, em função do melhor valor nutritivo desse órgão, tem ainda uma participação muito grande na elevação da percentagem de matéria seca na massa ensilada, em função do seu menor conteúdo de água (Zago, 1991).

No que diz respeito à depressão endogâmica, os valores foram não significativos no BR 601, nas duas épocas de plantio, ao passo que houve redução exagerada do rendimento médio de grãos do híbrido BR 602 (3,13 t/ha), para a geração  $F_2$  (0,83 t/ha), cau-

sando estimativa de depressão endogâmica positiva (73,4%) no plantio normal. A estimativa de 73,4% é de alta magnitude e anormal, refletindo problemas na parcela. No plantio em sucessão, evidências indicam não ter havido depressão endogâmica para rendimento (Quadros 3 e 4).

As estimativas da depressão endogâmica para matéria verde total, rendimento da massa seca total e rendimento de grãos, do híbrido BR 601, em relação às gerações  $F_2$  e  $F_3$ , poderiam sugerir a utilização das sementes  $F_2$ , em plantios comerciais, pelos agricultores. No entanto, este estudo foi efetuado num único ano e localidade e sem análise econômica. Desse modo, informações mais seguras são necessárias.

Quanto ao teor protéico médio dos híbridos BR 601 e BR 602, os valores obtidos foram de 5,77 e 4,81% respectivamente, no plantio normal, e 11,08 e 10,64%, no plantio em sucessão (Quadros 1 e 2). Os valores médios do plantio normal estão dentro da faixa encontrada por alguns autores (Ahluwalia, 1977; Arora et al., 1977; Pederson et al., 1982), que consideram níveis baixos. Assim, estariam aquém do requerido para ação microbiana ótima, no rúmen animal, o que, de certa forma, levaria a baixos níveis de digestibilidade "in vitro" da matéria seca.

As estimativas da heterobeltiose para teor protéico foram negativas. Para o híbrido BR 601, registrou-se a estimativa de -32,7% no plantio normal. No que diz respeito ao híbrido BR 602, a estimativa foi de -43,3% no plantio normal (Quadros 1 e 2). Em sorgo forrageiro, Singhanian et al. (1977) também encontraram estimativas negativas de heterose para teor protéico.

Como em sorgo granífero, em que a maioria dos trabalhos mostra correlação genotípica negativa entre rendimento de grãos e proteína bruta, alguns autores, em sorgo forrageiro, têm relatado correlação negativa entre rendimento da forragem e proteína bruta (Ahluwalia, 1977; Ross et al., 1979; Mohammad et al., 1993). Fez-se estudo de outras variáveis relacionadas à qualidade da forragem, tais como: FDA, FDN, lignina, hemicelulose, carboidratos e matéria seca. Os resultados são apresentados em conjunto, com posterior discussão.

Quadro 3. Médias do híbrido forrageiro BR 601, das gerações avançadas (F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>) e estimativas da depressão endogâmica (DP), em duas épocas de plantio: normal (N) e sucessão (S), em Sete Lagoas (MG), 1993

Caracteres	BR 601						DP <sub>1</sub> = ( $\bar{F}_1 - \bar{F}_2$ )/ $\bar{F}_1 \times 100$		DP <sub>2</sub> = ( $\bar{F}_1 - \bar{F}_3$ )/ $\bar{F}_1 \times 100$		DP <sub>3</sub> = ( $\bar{F}_2 - \bar{F}_3$ )/ $\bar{F}_2 \times 100$	
	F <sub>1</sub>		F <sub>2</sub>		F <sub>3</sub>		N	S	N	S	N	S
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
Altura da planta (m)	1,85	1,32	1,85	1,52	1,58	1,45	0,0ns	-15,1ns	14,6ns	-9,8ns	14,6ns	4,6ns
Dias para o florescimento	78,00	67,00	80,00	66,00	77,00	68,00	-2,5ns	1,5ns	1,3ns	-1,5ns	3,7ns	-3,0ns
FDN (%)	68,02	57,96	68,80	59,62	65,21	58,39	-1,1ns	-2,8ns	4,1ns	-0,7ns	5,2ns	2,0ns
FDA (%)	39,04	34,58	39,46	34,61	35,91	34,84	-1,1ns	0,0ns	8,0ns	-0,7ns	9,0ns	-0,6ns
Lignina (%)	1,96	1,83	1,91	1,55	1,38	2,03	2,5ns	15,3ns	29,6ns	-11,0ns	27,7ns	-31,0ns
Hemicelulose (%)	28,98	23,37	29,42	25,01	29,30	23,55	-1,5ns	-7,0ns	-1,1ns	-0,7ns	0,4ns	5,8ns
Carboidratos (%)	29,77	31,93	25,56	31,56	31,03	31,73	13,0ns	1,1ns	-5,6ns	0,6ns	-21,4*	-0,5ns
Proteína (%)	5,77	11,08	5,52	11,20	6,87	11,41	4,3ns	-1,0ns	-19,0ns	-3,0ns	-24,4ns	-1,8ns
Matéria seca (%)	29,33	23,50	27,10	24,26	29,56	24,70	7,6ns	-3,2ns	-0,7ns	-5,1ns	-9,0ns	-1,8ns
Proporção de colmo	0,73	0,71	0,79	0,70	0,75	0,69	-8,2ns	1,4ns	-2,7ns	2,8ns	5,0ns	1,4ns
Proporção de folha	0,06	0,09	0,07	0,10	0,07	0,11	-16,6ns	-11,1ns	-16,6ns	-22,2ns	0,0ns	-10,0ns
Proporção de panícula	0,19	0,19	0,13	0,19	0,17	0,19	31,5ns	0,0ns	10,5ns	0,0ns	-30,7ns	0,0ns
Matéria verde total (t/ha)	32,62	16,62	32,73	18,90	28,04	19,92	-0,3ns	-13,7ns	14,0ns	-20,0ns	14,3ns	-5,4ns
Rendimento de grãos (t/ha)	1,29	2,20	1,13	1,70	1,58	1,92	12,4ns	22,7ns	-22,4ns	12,7ns	-39,8ns	-13,0ns
Rend. massa seca total (t/ha)	9,52	3,85	9,06	4,60	8,40	4,95	4,8ns	-19,5ns	11,7ns	-28,5ns	7,2ns	-7,6ns

\*: Significativamente diferente de zero, ao nível de 5%, pelo teste t.

ns: Não significativo.



Quadro 4. Médias do híbrido BR 602, das gerações avançadas ( $F_2$  e  $F_3$ ) e estimativas da depressão endogâmica (DP), em duas épocas de plantio: normal (N) e sucessão (S), em Sete Lagoas (MG), 1993

Caracteres	BR 602						$DP_1 = (\bar{F}_1 - \bar{F}_2) / \sqrt{\bar{F}_1} \times 100$		$DP_2 = (\bar{F}_1 - \bar{F}_3) / \sqrt{\bar{F}_1} \times 100$		$DP_3 = (\bar{F}_2 - \bar{F}_3) / \sqrt{\bar{F}_2} \times 100$	
	$F_1$		$F_2$		$F_3$		N	S	N	S	N	S
	N	S	N	S	N	S						
Altura da planta (m)	1,98	1,50	2,13	1,52	1,54	1,34	-7,5ns	-1,3ns	22,2ns	10,6ns	27,7ns	11,8ns
Dias para o florescimento	79,00	69,00	83,00	67,00	75,00	66,00	-5,0ns	2,9ns	5,0ns	4,3ns	9,6*	1,5ns
FDN (%)	65,31	60,83	64,65	64,09	63,66	64,92	1,0ns	-5,3ns	2,5ns	-6,7ns	1,5ns	-1,3ns
FDA (%)	42,57	35,71	36,88	38,00	37,91	38,72	13,3ns	-6,4ns	11,0ns	-8,4ns	-2,8ns	-1,9ns
Lignina (%)	2,00	1,97	1,38	2,21	1,75	1,95	31,0ns	-12,1ns	12,5ns	1,0ns	-26,8ns	11,7ns
Hemicelulose (%)	22,74	25,12	27,76	26,08	25,75	26,20	-22,0ns	-3,8ns	-13,2ns	-4,3ns	7,2ns	-0,4ns
Carboidratos (%)	24,82	30,40	28,53	29,36	28,50	28,96	-15,0ns	3,4ns	-15,0ns	4,7ns	0,1ns	1,3ns
Proteína (%)	4,81	10,64	5,79	10,74	5,21	11,54	-20,3ns	-0,9ns	-8,3ns	-8,4ns	10,0ns	-7,4ns
Matéria seca (%)	25,20	23,76	28,06	24,36	28,33	23,93	-11,3ns	-2,5ns	-12,4ns	-0,7ns	-0,9ns	1,7ns
Proporção de colmo	0,70	0,74	0,80	0,72	0,79	0,70	-14,2ns	2,7ns	-12,8ns	5,4ns	1,2ns	2,7ns
Proporção de folha	0,06	0,10	0,07	0,11	0,08	0,11	-16,6ns	-10,0ns	-33,3*	-10,0ns	-14,2ns	0,0ns
Proporção de panícula	0,23	0,14	0,12	0,15	0,13	0,18	47,8ns	-7,1ns	43,4ns	-28,5ns	-8,3ns	-20,0ns
Matéria verde total (t/ha)	33,42	23,00	33,23	23,04	34,95	20,76	0,5ns	-0,2ns	-4,5ns	9,7ns	-5,1ns	10,0ns
Rendimento de grãos (t/ha)	3,13	1,39	0,83	1,12	1,28	0,97	73,4*	19,4ns	59,1*	30,2ns	-54,2ns	13,4ns
Rend. massa seca total (t/ha)	8,40	5,46	9,26	5,58	10,00	5,00	-10,2ns	-2,2ns	-17,8ns	8,6ns	-7,0ns	10,5ns

\*: Significativamente diferente de zero, ao nível de 5%, pelo teste t.

ns: Não significativo.

Os híbridos forrageiros BR 601 e BR 602 apresentaram valores similares de FDN e FDA em plantio normal, ocorrendo redução nas médias desses caracteres no plantio em sucessão (Quadros 1 e 2). A magnitude dessas médias, para os dois híbridos, são altas e próximas aos valores máximos encontrados por Arora (1975); White et al. (1991), Sanderson et al. (1994).

No que concerne às estimativas da heterobeltiose dos caracteres citados, verificou-se, para o híbrido BR 601, que a maioria foi não significativa, com exceção daquelas estimativas negativas de -13,0% para hemicelulose e -18,0% para matéria seca, no plantio em sucessão, e -25,0% para carboidratos, no plantio normal (Quadro 1). Esse mesmo estudo, para o BR 602, revelou valores de heterobeltiose não significativos para lignina, hemicelulose e FDN. No plantio normal, os valores de heterobeltiose de 20,2% para FDA e -27,7% para carboidratos foram significativos. No plantio em sucessão, somente o valor de -15,0% para matéria seca foi significativo (Quadro 2).

Esses resultados indicam reduzida diversidade genética dos pais para os caracteres de qualidade, sendo desejáveis valores negativos de heterobeltiose para lignina, FDA, FDN e carboidratos estruturais. As reduções nos teores de fibra e, especialmente, de lignina, são atributos fundamentais para a boa digestibilidade.

Em relação à depressão endogâmica, não houve evidência de alterações. A exceção é a geração  $F_3$  do BR 601, com estimativa negativa de -21,4% para carboidratos no plantio normal (Quadros 3 e 4). No que se refere às proporções de colmo, folha e panícula, percebe-se que não houve mudanças acentuadas para o BR 601, comparando-se as duas épocas de plantio; já para o BR 602, foi reduzida a proporção de panícula do plantio normal para a sucessão (Quadros 1 e 2).

As proporções são típicas de sorgo forrageiro de porte alto, ou seja, caracteriza-se pela alta produção de matéria verde por hectare, com menor proporção de grãos (Quadros 1 e 2). Essa baixa proporção de panícula, que, de certo modo, acarreta menor produção de grãos, compromete a qualidade da forragem.

Ainda em relação às proporções colmo, folha e panícula, no híbrido BR 601, há evidência de heterobeltiose significativa e negativa para proporção de folha (-50,0%) e proporção de panícula (-42,4%), no plantio normal e, novamente, para proporção de panícula (-27,0%), no plantio em sucessão (Quadro 1). Para o híbrido BR 602, os valores de heterobeltiose foram negativos para proporção de folha (-33,3%) no plantio normal, e de panícula (-50,0%) no plantio em sucessão (Quadro 2).

No que tange à depressão endogâmica, todos os valores foram não significativos, com exceção da estimativa negativa de -33,3% para proporção de folha, do híbrido BR 602, e a geração  $F_3$  no plantio normal (Quadros 3 e 4).

No que diz respeito ao estudo de efeitos gênicos, os testes de escala individuais C e, ou, D revelaram que o modelo aditivo-dominante é próprio para explicar a herança da maioria dos caracteres, com exceção de FDN e carboidratos, para o cruzamento BR 007A x BR 501R, no plantio normal (Quadro 5). Para o segundo cruzamento, BR 008A x BR 501R, os testes de escala individuais C e, ou, D, foram significativos somente para proteína e rendimento de grãos, no plantio normal, e para FDN e FDA, no plantio em sucessão (Quadro 6).

Para o cruzamento BR 007A x BR 501R, no plantio normal, o componente aditivo [ $d'$ ] foi predominante para FDN, matéria verde total e rendimento da massa seca total, e importante para FDA, hemicelulose e proteína. No plantio em sucessão, foi predominante para FDA, carboidratos, matéria seca e rendimento de grãos (Quadro 5). Dessa forma, não houve consistência dos resultados, nas duas épocas de plantio, revelando que os mecanismos genéticos que governam a heterose, em sorgo, são influenciados pelas variações do meio ambiente.

No cruzamento BR 008A x BR 501R, no plantio normal, o componente [ $d'$ ] foi nulo para os caracteres de qualidade e expressivo para os de rendimento. No plantio em sucessão, foi importante para matéria seca e rendimento de grãos (Quadro 6).

Quadro 5. Testes de escala e estimativas dos efeitos gênicos responsáveis pela determinação de dez caracteres de sorgo forrageiro, em relação ao cruzamento BR 007A x BR 501R, considerando duas épocas de plantio: normal (N) e sucessão (S)

Caracteres	Testes de escala				Efeitos gênicos									
	C		D		[m]		[d']		[h]		[i]		[l]	
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
FDN	27,34*	2,25ns	50,18*	-9,73ns	68,80*	59,00*	6,83*	2,50ns	9,05ns	-1,90ns	-3,05ns	-	-21,22ns	-
FDA	18,25ns	2,20ns	24,67ns	8,32ns	36,50*	34,40*	4,67*	2,71*	8,82*	1,01ns	-	-	-	-
Lignina	0,46ns	-1,20ns	-2,66ns	1,40ns	1,76*	1,81*	0,34ns	0,30ns	0,40ns	-0,12ns	-	-	-	-
Hemicelulose	9,42ns	0,06ns	25,54ns	-18,06ns	28,18*	24,60*	2,15*	0,22ns	3,87*	-2,92ns	-	-	-	-
Carboidratos	-24,65*	-2,70ns	-14,95ns	-5,23ns	25,56*	32,00*	5,11ns	1,94*	-12,04ns	-0,65ns	-7,34ns	-	39,33ns	-
Proteína	-4,12ns	0,26ns	-0,56ns	1,98ns	6,30*	11,20*	1,25*	0,25ns	-1,77ns	-0,13ns	-	-	-	-
Matéria seca	-8,16ns	-0,72ns	4,12ns	-1,68ns	28,76*	24,36*	2,65ns	3,25*	-0,13ns	-1,89ns	-	-	-	-
Matéria verde	-2,63ns	11,51ns	-45,85ns	33,57ns	32,21*	17,44*	8,65*	0,33ns	-0,85ns	1,21ns	-	-	-	-
Rendimento de grãos	-1,45ns	-1,29ns	-0,11ns	-0,11ns	1,40*	1,94*	0,69ns	0,46*	-0,48ns	0,28ns	-	-	-	-
Rend. massa seca total	2,02ns	2,90ns	-9,50ns	8,50ns	9,23*	4,23*	1,63*	0,57ns	-0,03ns	-0,04ns	-	-	-	-

d' = aditivo e aditivo x dominante, h = dominância, i = aditivo x aditivo, l = dominante x dominante.

\*: Significativo ao nível de 5%, pelo teste t.

ns: Não significativo.

Quadro 6. Testes de escala e estimativas dos efeitos gênicos responsáveis pela determinação de dez caracteres de sorgo forrageiro, em relação ao cruzamento BR 008A x BR 501R, considerando duas épocas de plantio: normal (N) e sucessão (S)

Caracteres	Testes de escala				Efeitos gênicos									
	C		D		[m]		[d']		[h]		[i]		[l]	
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
FDN	6,00ns	12,91*	12,70ns	-32,34*	63,80*	64,10*	1,74ns	1,75ns	4,41ns	-4,38ns	-	-4,32ns	-	-4,26ns
FDA	-7,35ns	12,38*	8,95ns	33,74*	38,50*	38,00*	0,56ns	2,15ns	7,15*	-3,44ns	-	-5,05ns	-	-2,26ns
Lignina	-1,95ns	1,13ns	-0,41ns	0,35ns	1,75*	2,00*	0,23ns	0,28ns	0,17ns	0,14ns	-	-	-	-
Hemicelulose	13,31ns	0,50ns	3,77ns	-1,38ns	25,30*	26,00*	1,17ns	0,39ns	-2,74ns	-1,62ns	-	-	-	-
Carboidratos	1,20ns	-7,85ns	-11,51ns	-22,60ns	28,05*	30,36*	2,68ns	1,65ns	-6,55*	-1,86ns	-	-	-	-
Proteína	-1,02ns	0,02ns	-11,62*	6,06ns	5,60*	10,87*	1,20*	0,61*	0,89ns	-0,29ns	3,36*	-	-5,70*	-
Matéria seca	5,01ns	-0,14ns	5,75ns	-6,26ns	27,22*	24,25*	2,11ns	2,90*	-3,05ns	-1,16ns	-	-	-	-
Matéria verde	3,44ns	14,60ns	24,84ns	25,40ns	33,12*	20,80*	11,50*	0,69ns	1,84ns	7,55*	-	-	-	-
Rendimento de grãos	-5,72*	-1,60ns	-4,36ns	-4,90ns	0,83*	1,31*	0,39*	0,26*	0,33*	-0,25*	-1,40ns	-	8,53*	-
Rend. massa seca total	2,82ns	3,50ns	10,14ns	5,27ns	8,95*	5,02*	2,53*	0,62*	-0,34ns	1,60*	-	-	-	-

d' = aditivo e aditivo x dominante, h = dominância, i = aditivo x aditivo, l = dominante x dominante.

\*: Significativo, ao nível de 5%, pelo teste t.

ns: Não significativo.

Para o cruzamento BR 007A x BR 501R, não há evidência de ação gênica devida à dominância [h] para a maioria dos caracteres, com exceção de FDA e hemicelulose, no plantio normal. Os desvios da dominância não foram importantes para nenhum caráter, no plantio em sucessão (Quadro 5). Isso explica heterose e posterior depressão endogâmica não significativas para a maioria dos caracteres (Quadros 1 e 2)

No cruzamento BR 008A x BR 501R, o componente [h] é também relevante para FDA e carboidratos, no plantio normal, e importante para rendimento de grãos e rendimento da massa seca total, no plantio em sucessão (Quadro 6). Novamente, explicam-se as heteroses significativas, embora as estimativas de depressão endogâmica tenham sido não significativas. Os caracteres governados pela ação gênica devida à dominância não podem ser fixados, e a exploração do vigor híbrido é a única solução.

A epistasia não foi importante para a determinação dos caracteres, nos dois cruzamentos forrageiros (Quadros 5 e 6). Houve evidência de efeitos epistáticos significativos apenas para os caracteres proteína e rendimento de grãos, no cruzamento BR 008A x BR 501R, no plantio normal (Quadro 6). Para proteína, as estimativas dos componentes [i] e [l] foram de alta magnitude, superando, inclusive, os componentes aditivo e o devido à dominância. Para rendimento de grãos, um componente epistático importante foi aquele em consequência dos efeitos do tipo dominante x dominante [l].

Em resumo, no cruzamento BR 007A x BR 501R, os efeitos aditivos foram predominantes para a maioria dos caracteres, nas duas épocas de plantio. Essa magnitude da variação aditiva parece suficiente para o melhoramento dos caracteres de qualidade. As exceções são FDA e hemicelulose, no plantio normal. No cruzamento BR 008A x BR 501R, os efeitos aditivos e devidos à dominância foram igualmente importantes para os caracteres de rendimento, nas duas épocas de plantio. Os efeitos de dominância explicaram, em grande parte, as manifestações heteróticas para vários caracteres.

#### 4. CONCLUSÕES

1) No plantio em sucessão, comparativamente ao normal, os híbridos forrageiros apresentaram menor altura de planta, florescimento precoce, redução na matéria verde e no rendimento da massa seca e maior porcentagem protéica, além de maior proporção do colmo e menor de panícula;

2) Para os dois híbridos forrageiros, as estimativas da heterose foram positivas para rendimento de massa seca e negativas para proteína, nas duas épocas de plantio;

3) Não houve, em geral, depressão endogâmica, com exceção da alteração do rendimento de grãos, na geração  $F_2$  do híbrido BR 602, no plantio normal, inviabilizando a utilização comercial das sementes  $F_2$ 's;

4) Os efeitos aditivos predominaram para a maioria dos caracteres, nas duas épocas de plantio, no cruzamento forrageiro BR 007A x BR 501R, ao passo que os efeitos aditivos e dominantes foram igualmente importantes para a determinação dos caracteres de rendimento, nas duas épocas de plantio para o cruzamento forrageiro BR 008A x BR 501R.

5) Os desvios de dominância explicaram as heteroses significativas de vários caracteres.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLUWALIA, M. Forage sorghum breeding for animal production. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, New Delhi, **37**:241-244, 1977.
- ARORA, S. K.; PARODA, R. S. & LUTHRA, Y. P. Forage sorghum: its chemistry. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, New Delhi, **37**:175-183, 1977.
- ARORA, S. K.; PARODA, R. S.; LUTHRA, Y. P. & DAS, B. Genetic variability in structural components and in vitro digestibility of fodder samples of promising grain varieties. *Indian Journal of Nutritional and Dietetic*, Coimbatore, **12**:53-59, 1975.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. *Official methods of analysis*. 14.ed. Arlington, AOAC, 1984. 1094p.

- FINKNER, R. E.; FINKNER, M. D.; GLAZE, R. M. & MAESE, G. Genetic control for percentage grain protein and grain yield in grain sorghum. *Crop Science*, Madison, **21**:139-142, 1981.
- GEETA, S. & RANA, B. S. Genetic changes over six generations in a pedigree breeding programme in sorghum. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, New Delhi, **41**:61-66, 1987.
- GOYAL, S. N. & JOSHI, P. Genetics yield and panicle components in grain sorghum hybrids. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, New Delhi, **44**:96-101, 1984.
- HAYMAN, B. I. The separation of epistatic from additive and dominance variation in generation means. *Heredity*, London, **12**:371-390, 1958.
- LODHI, G. P.; PARODA, R. S. & HET RAM. Hybrids vs. varieties in forage sorghum. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, New Delhi, **37**:207-215, 1977.
- MATHER, K. & JINKS, J. L. *Biometrical genetics*. 2.ed. London, Chapman and Hall, 1971. 382p.
- MOHAMMAD, D.; COX, P. B.; POSLER, G. L., KIRKHAM, M. B.; HUSSAIN, A. & KHAN SARTAJ. Correlation of characters contributing to grain and forage yields and forage quality in sorghum. *Indian Journal of Agriculture Sciences*, New Delhi, **63**:92-95, 1993.
- PARODA, R. S.; LODHI, G. P. & SHARMA, G. D. Heterosis for forage characters in sorghum. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, New Delhi, **34**:200-205, 1974.
- PEDERSON, J.F.; GORZ, H. J.; HASKINS, F. A. & ROSS, W.M. Variability for quality and agronomic traits in forage sorghum hybrids. *Crop Science*, Madison, **22**:853-856, 1982.
- QUINBY, J. R. Manifestations of hybrid vigor in sorghum. *Crop Science*, Madison, **3**:288-291, 1963.
- QUINBY, J. R. *Sorghum improvement and the genetics of growth*. Texas, College Station, Texas A. M. University Press, 1974. 108p.
- REDDY, J. N. & JOSHI, P. Heterosis, inbreeding depression and combining ability in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, New Delhi, **53**:138-146, 1993.
- RIBAS, P. M. Sorgho no complexo produtivo brasileiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 19., 1992, Porto Alegre. *Anais*. Porto Alegre, 1992. p.186-190.
- RODRIGUES, J. A. S. *Progresso genético e potencial de risco do sorgho granífero* (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) no Brasil. Piracicaba, 1990. 170p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - ESALQ/USP, 1990.
- ROSS, W.M. Use of population breeding in sorghum: problem and progress. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM INDUSTRY RESEARCH CONFERENCE, Chicago. *Proceedings...* Washington, D.C., American Seed Trade Association, 1973. p.30-43.
- ROSS, W. M.; GORZ, H. J.; HASKINS, F. A. & KOFOID, K. D. Combining ability in forage sorghum hybrids. *Maydica*, Roma, **24**:83-93, 1979.
- SANDERSON, M. A.; MILLER, F. R. & JONES, R. M. *Forage quality and agronomic traits of experimental forage sorghum hybrids*. Texas Agricultural Experimental Station, 1994. 6p.
- SANTOS, F. G. *Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres de importância agrônômica em sorgo forrageiro* (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), utilizando-se de progênies de meios-irmãos e S<sub>1</sub>. Viçosa, 1991. 120p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- SCHAFFERT, R. E. & TREVISAN, W. L. Aspectos gerais da cultura do sorgo nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, Sete Lagoas. *Anais*. Sete Lagoas, 1979. p.25-29.
- SINGHANIA, D. L. Heterosis and combining ability studies in grain sorghum. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, New Delhi, **40**:463-470, 1980.
- SINGHANIA, D. L.; RATNALIKAR, V. P.; GUPTA, S. C. & SINGH, V. Genetic analysis of forage yield and quality in sorghum. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, New Delhi, **37**:235-240, 1977.
- VAN SOEST, P. J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for determination of fiber and lignin. *JAOCS*, Ithaca, **46**:925-929, 1963.
- WHITE, J. S.; BOLSEN, K. K.; POSLER, G. & NEILL, J. W. Forage sorghum silage dry matter disappearance as influenced by plant part proportion. *Animal Feed Science Technology*, Amsterdam, **33**:313-322, 1991.
- WILSON, N. D.; WEIBEL, D. E. & McNEW, R. W. Diallel analyses of grain yield, percent protein, and protein yield in grain sorghum. *Crop Science*, Madison, **18**:491-495, 1978.
- ZAGO, C. P. Cultura de sorgo para produção de silagem de alto valor nutritivo. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4., Piracicaba, 1991. *Anais*. Piracicaba, ESALQ. p.169-217.