

HETEROSE NA PRODUÇÃO BIOLÓGICA DE SORGO GRANÍFERO

Renato Antônio Borronovi¹

Antonio Ernani P. da Silva Filho²

RESUMO - Com o objetivo de se determinar a ocorrência da heterose na produção biológica de sorgo granífero e seus reflexos na produção econômica, foram avaliadas as seguintes características de um híbrido F₁ de sorgo e de suas linhagens progenitoras, durante seu ciclo vegetativo: altura de planta, número de folhas por planta, índice de área foliar, florescimento, produção de matéria seca de raízes, colmos, folhas, panículas, matéria seca total, rendimento de grãos, número de grãos por panícula, peso de 1.000 grãos e índice de colheita. A heterose foi estimada em relação à média das linhagens progenitoras e ao progenitor superior para cada característica. O híbrido desenvolveu-se mais rapidamente do que as linhagens, apresentando maior altura de planta durante todo o ciclo vegetativo. As plantas do híbrido apresentaram maior área foliar do que suas linhagens até o florescimento, quando passam a assumir valores intermediários. Com relação à matéria seca total, o híbrido foi superior às linhagens durante o ciclo da cultura. A distribuição percentual da matéria seca produzida durante o ciclo das plantas indicou que o híbrido foi mais eficiente na produção, translocação e acúmulo dos produtos da fotossíntese, como pôde ser observado pelos níveis da heterose, estimados para o índice de colheita, que foram de 27,5% e 19,6% em relação à média dos progenitores e ao progenitor superior, respectivamente. O período da antese marca a modificação no padrão de acúmulo de matéria seca nas partes das plantas, particularmente no híbrido, que define maior capacidade em acumular fotoassimilados em sua estrutura reprodutiva. A heterose no rendimento de grãos do híbrido F₁ manifestou-se por acréscimos de 60,8% em relação à média das linhagens e de 60,7% em relação ao progenitor superior para esta característica. A heterose também foi efetiva com relação aos componentes primários do rendimento peso de 1.000 grãos e o número de grãos por panícula. O híbrido superou significativamente seus progenitores nestas características.

HETEROSIS IN THE BIOLOGICAL YIELD OF GRAIN SORGHUM

ABSTRACT - The object of this study was to determine the occurrence of heterosis in the biological of grain sorghum. One experimental hybrid and its parents were evaluated throughout the growing season for the following characteristics: plant height, number of leaves per plant, leaf area index, days to mid bloom, dry weight of roots, culms, leaves, heads, total dry weight, grain yield, 1,000 seeds weight, number of kernels per head and harvest index. Heterosis was calculated for each trait as percent of the mid parent and of the best parent. The hybrid showed greater vegetative height than its parents throughout the growing season. It had greater leaf area than its parents until flowering. From this point on, both parents either equaled or exceed the hybrid. The hybrid exceeded each parent in total dry weight throughout the duration of growth. The weights of the different plant parts, expressed as percentage of the total dry matter, showed that the hybrid was more efficient than its parents for dry matter production and accumulation in the head and, consequently, outyielded its parents for grain production (60,8% over the mid parent and 60,7% over the best parent). The yield advantage of the hybrid resulted from increases in seed weight and, to a lesser extent, from increases in number of seeds per head. Heterosis for harvest index (27,5% and 19,6% over its mid parent and best parent, respectively) reflects the greater biological efficiency of the hybrid.

INTRODUÇÃO

A heterose tem sido objeto de muitos trabalhos e de grande especulação por parte dos geneticistas que buscaram elucidar suas bases genéticas.

¹ Eng.-Agr., M.Sc., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), Caixa Postal 151, CEP 35700 Sete Lagoas, MG.

² Eng.-Agr., Prof.-Adj. UFUPEL/Departamento de Fiotecnologia, Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Caixa Postal 354, CEP 96100 Pelotas, RS.

Entretanto, pequena atenção foi dada aos mecanismos fisiológicos envolvidos no processo e que podem ser úteis na escolha dos progenitores que serão utilizados no desenvolvimento de híbridos superiores. Em sorgo, desde o trabalho de Bartel (1949), vários estudos demonstraram os efeitos da heterose sobre vários caracteres agrônômicos, incluindo a produção de grãos e seus componentes. Porém, a maior parte dos estudos se restringiram à determinação dos efeitos heteróticos em plantas que já atingiram a maturidade.

Os poucos estudos que consideraram a manifestação da heterose nas fases anteriores à maturação, reportaram que os híbridos de sorgo que exibiram heterose para produção de grãos, também demonstraram-na nas fases iniciais de crescimento (Krishnamurthy et al. 1975, Patanotahi & Atkins 1971, Quinby 1963, Ranganathan & Rachii 1967, Rao & Venkateswarlu 1971). Assim, existem poucas informações a respeito do comportamento de híbridos F_1 de sorgo em relação às linhagens progenitoras, durante o ciclo vegetativo.

Em seu artigo sobre a fotossíntese e a teoria de obtenção de elevadas produtividades, Nichiporovich, citado por Yoshida (1972), introduziu os conceitos de produção biológica e produção econômica. A produção biológica é constituída pela matéria seca total da planta, e a produção econômica, pela parte economicamente utilizável da produção biológica. A relação entre a produção econômica e a produção biológica constitui o índice de colheita. Assim, maior índice de colheita representa maior capacidade fisiológica que, frequentemente, é denominada capacidade de depósito, em mobilizar os produtos da fotossíntese e armazená-los nos órgãos de valor econômico (Wallace et al. 1972). Segundo Yoshida (1972), a produção econômica de uma cultura pode ser aumentada através de acréscimos em sua produção biológica, ou em seu índice de colheita, ou mesmo em ambas as características.

O presente estudo teve como objetivo a determinação da ocorrência da heterose na produção biológica de um híbrido F_1 de duas linhagens de sorgo, durante o ciclo vegetativo, e seus reflexos na produção econômica.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi instalado em novembro de 1976, no campo experimental da UEPAE de Pelotas, RS. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Cada parcela correspondeu a uma época de coleta de material e foi constituída por três subparcelas correspondentes às duas linhagens de sorgo e ao híbrido F_1 . As subparcelas constaram de quatro fileiras de 5,0 m de comprimento, com espaçamento de 0,7 m, sendo consideradas como bordaduras as fileiras externas e 0,5 m das extremidades das subparcelas. Desse modo, a área útil das subparcelas foi de 5,6 m².

Foram semeadas 45 sementes das linhagens Tx 399B, Tx 2536 e de seu híbrido F_1 ; posteriormente, através do desbaste, o estande foi ajustado para quatorze plantas por metro linear, correspondentes à população de 200.000 plantas por hectare.

O experimento recebeu uma adubação correspondente a 10 kg/ha de N, 40 kg/ha de P_2O_5 e 40 kg/ha de K_2O , no plantio, e de 40 kg/ha de N, 35 dias após a emergência.

Para obtenção dos dados, altura de planta, área foliar e matéria seca, foram realizadas coletas sucessivas de dez plantas de cada cultivar, por repetição, a intervalos de quatorze dias, da emergência até a maturação. Considerou-se como data de florescimento de cada cultivar o dia em que 50% das panículas da área útil da parcela alcançaram a antese.

A área foliar foi determinada em cada coleta através de discos de folhas, obtidos por meio de punção, e convertida para o índice de área foliar (L = área foliar por unidade de área de solo).

As plantas colhidas em cada época foram separadas em partes (raízes, colmos, folhas e panículas) e secadas em estufa com ventilação forçada, à temperatura de 70°C, onde permaneceram até apresentarem peso constante. O sistema radicular foi extraído juntamente com o solo envolvente e lavado sobre peneira para eliminação do solo, antes de ser levado à estufa.

A heterose foi estimada em relação à média dos pais e ao progenitor superior, para características consideradas através das expressões:

$$\text{heterose} = \frac{F_1 - \frac{P_1 + P_2}{2}}{\frac{P_1 + P_2}{2}} \times 100 \text{ e.}$$

$$\text{heterose} = \frac{F_1 - \text{progenitor superior}}{\text{progenitor superior}} \times 100$$

O peso de 1.000 grãos e o índice de colheita (K_T = peso de grãos/matéria seca total) foram estimados na última coleta, aos 112 dias após a emergência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Altura de planta, número de folhas por planta, florescimento e índice de área foliar

As médias de altura de planta, do número de folhas por planta — obtidas aos 112 dias após a emergência —, e do período para o florescimento, como também os valores da heterose para estas características, estimados em relação à média das linhagens progenitoras e ao progenitor superior, são apresentadas na Tabela 1.

O híbrido de sorgo utilizado neste estudo demonstrou superioridade em relação às linhagens parentais quanto à altura de planta, durante todos os estádios de desenvolvimento, sendo que a heterose, ao final do ciclo vegetativo, foi de 18,1% e 12,8% em relação à média das linhagens e ao progenitor superior, respectivamente. A habilidade do híbrido em alcançar maiores alturas de planta do que as linhagens parentais, durante um mesmo período, sugere que o híbrido apresentou maiores taxas de crescimento. Esse fato, segundo Kambal & Webster (1966), pode ser interpretado como uma manifestação da heterose. Conforme esses autores, os híbridos de sorgo são mais altos do que suas linhagens parentais porque apresentam colmos, pedúnculos e panículas mais longas. Essa associação positiva entre altura de planta e comprimento de panícula auxilia na explicação das altas correlações encontradas por Maunder (1969) entre altura de planta e rendimento de grãos.

O comprimento do colmo de uma planta de sorgo é função do número de nós e do comprimento médio do entrenó. Segundo Kambal & Webster (1966), a heterose na altura de planta, em sorgo, manifesta-se mais através de acréscimos no comprimento médio dos entrenós do híbrido, do que através de aumentos no número de nós. Ainda que os resultados obtidos no presente trabalho não per-

TABELA 1. Reflorescimento, altura de planta, número de folhas por planta e estimativas da heterose nestas características, em relação à média das linhagens parentais (MP) e ao progenitor superior (PS).

	Altura de ^{1,2} planta	Número de folhas ² por planta	Período para o florescimento
	cm		dias
Tx 2536	120 b	11,2 a	75 b
Tx 399 B	109 c	10,8 a	77 b
Híbrido F ₁	136 a	11,5 a	71 a
Heterose			
MP	20,8**	0,5	-5,0**
(%)	18,1	4,9	-6,5
PS	15,4**	0,3	-4,0*
(%)	12,8	3,0	-5,3

1 Médias seguidas pela mesma letra, para cada característica, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

2 Estimativas obtidas aos 112 dias após a emergência.

* Estimativa da heterose significativa ao nível de 5% de probabilidade.

** Estimativa da heterose significativa ao nível de 1% de probabilidade.

mitam a confirmação direta dessa hipótese, eles possibilitam que ela seja confirmada indiretamente, utilizando-se os dados relativos ao número de folhas por planta. Pela análise dos dados apresentados na Tabela 1, observa-se que, apesar de ter sido o híbrido ligeiramente superior às linhagens parentais quanto ao número de folhas por planta, essa diferença não foi significativa. Desde que, segundo Kambal & Webster (1966), em sorgo apenas uma folha é produzida em cada nó, o número de folhas pode ser considerado igual ao número de nós; conseqüentemente, no híbrido estudado, a heterose altura de planta pode ser atribuída a acréscimos no comprimento médio do entrenó.

A heterose negativa que se verificou no período para o florescimento do híbrido e que se traduziu numa precocidade de cinco e quatro dias, respectivamente, em relação à média dos pais e à linhagem

progenitora mais precoce, indica que o desenvolvimento da panícula iniciou-se mais cedo no híbrido do que nas linhagens progenitoras. Estes resultados concordam com os obtidos por vários autores (Quinby 1963, 1967, 1974, Quinby et al. 1958, Kirby & Atkins 1968, Liang et al. 1972, Patanothai & Atkins 1971). Segundo Quinby (1974), a precocidade do híbrido pode ser atribuída ao rápido desenvolvimento do meristema apical durante o período que precede a diferenciação floral e, posteriormente, ao desenvolvimento mais rápido da panícula.

Na Fig. 1 são apresentadas as estimativas do índice de área foliar (L) das linhagens e do híbrido. Observa-se que o híbrido F_1 apresentou L superior aos das linhagens parentais até 56 dias após a emergência, quando passa a assumir valores intermediários. Seu valor máximo (6,11) foi atingido

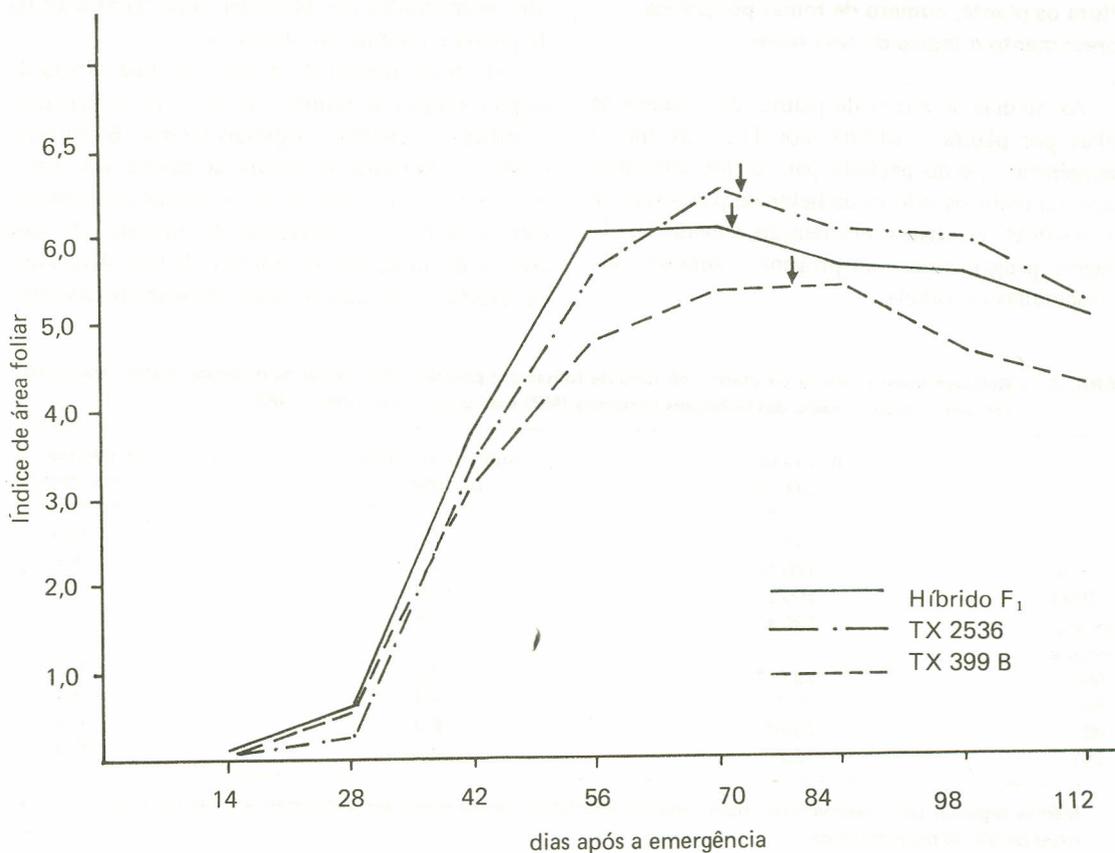


FIG. 1. Variação no índice de área foliar (L) de duas linhagens de sorgo e de híbrido F_1 , em função dos dias após a emergência (as setas indicam a época de florescimento).

aos 70 dias após a emergência. Nota-se que, durante os estádios de crescimento que precedem o florescimento, a heterose foi efetiva, proporcionando o maior desenvolvimento da área foliar do híbrido. Porém, posteriormente, uma das linhagens atingiu valores superiores aos do híbrido. Segundo Quinby (1974), este fato pode ser explicado analisando-se a ontogênese de diversas espécies da família das gramíneas. Conforme esse autor, o menor desenvolvimento da área foliar em indivíduos dessas espécies, após o florescimento, é o resultado do efeito inibitório que a panícula em desenvolvimento exerce sobre as folhas superiores. Assim, aparentemente, o efeito inibidor não só é maior no híbrido, em decorrência do maior tamanho da panícula, como também ocorre mais cedo, uma vez que o L do híbrido alcançou valor bastante próximo do seu valor máximo mais rapidamente do que suas linhagens.

Matéria seca

Com relação à heterose na produção de matéria seca, nota-se que a superioridade do híbrido F_1 sobre suas linhagens, quanto à matéria seca de panículas, é evidente, inclusive no estágio que precede o florescimento (Fig. 2), indicando que as panículas do híbrido são maiores, ainda que se desenvolvam num menor período de tempo. Esses resultados concordam com os obtidos por Gibson & Schertz (1977) e Quinby (1963, 1970, 1974). Nota-se que, após a emissão das panículas, inicia-se o acúmulo de matéria seca nestes órgãos, em detrimento dos demais órgãos das plantas (Tabela 2). Porém, se este acúmulo é bastante acentuado no híbrido, ele ocorre em menor intensidade nas linhagens parentais, determinando a ocorrência de diferenciais crescentes com relação a esta característica. Assim, a maior capacidade do híbrido em

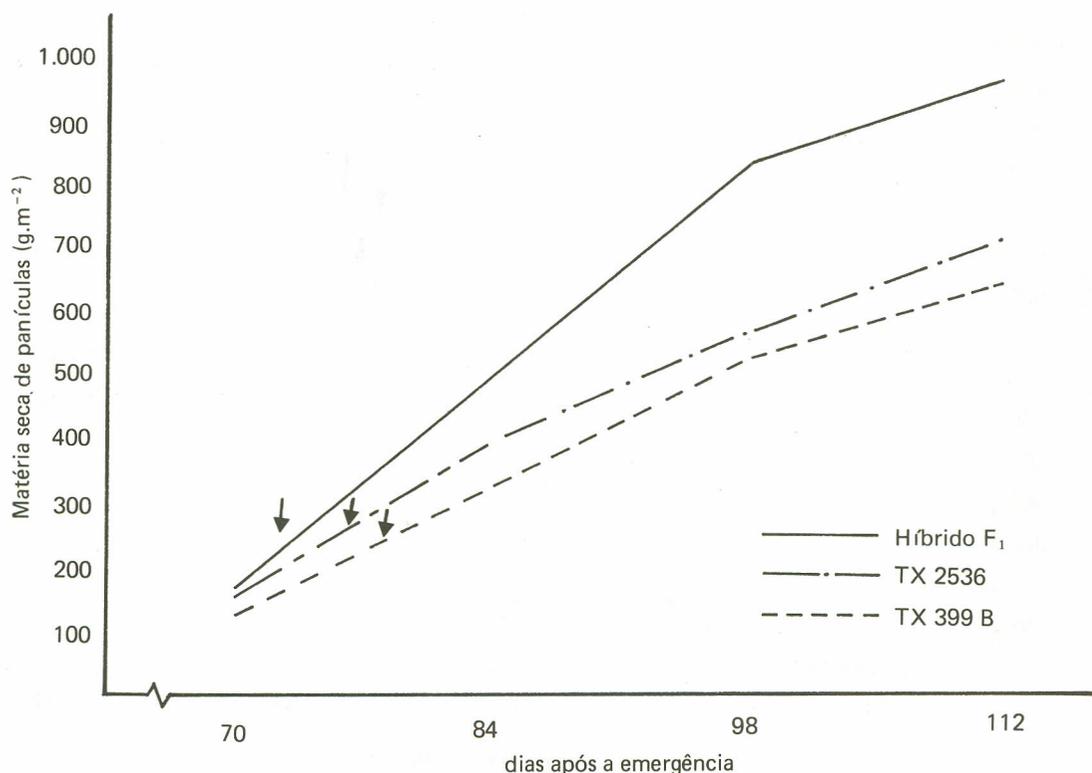


FIG. 2. Variação na matéria seca de panículas (W_p) de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em função dos dias após a emergência (as setas indicam a época de florescimento).

translocar e acumular matéria seca na panícula evidencia-se como um dos determinantes da heterose. Tais resultados são semelhantes aos obtidos por vários autores (Allison 1971, Babu & Redy 1981, Gibson & Schertz 1977, Patanothai & Atkins 1971, Rao & Venkateswanlu 1971, Sinha & Khau-na 1975).

O híbrido de sorgo utilizado neste estudo excedeu suas linhagens progenitoras na produção de matéria seca total (W_t) dos 14 a 112 dias após a emergência (Fig. 3). As maiores produções de matéria seca, associadas aos maiores índices de área foliar durante os estádios iniciais de desenvolvimento e que se mantiveram dos 28 aos 56 dias após a emergência, período considerado de grande crescimento (Vanderlip 1972), refletem o rápido

desenvolvimento morfológico do híbrido em relação a seus progenitores, e pode ser atribuído à heterose (Gibson & Schertz 1977, Patanothai & Atkins 1971).

Nota-se que, do florescimento aos 84 dias após a emergência, os valores de W_t do híbrido e do progenitor superior para esta característica são bastante próximos, o que contribui para minimizar as estimativas da heterose nesse período. Entretanto, verifica-se que este acréscimo em W_t da linhagem foi decorrente do acréscimo de matéria seca na parte vegetativa (Fig. 4). Por outro lado, no híbrido ocorreu a estabilização da curva de matéria seca da parte vegetativa por ocasião do florescimento, indicando que a panícula passa a ser o sítio preferencial do acúmulo dos produtos da fotossíntese.

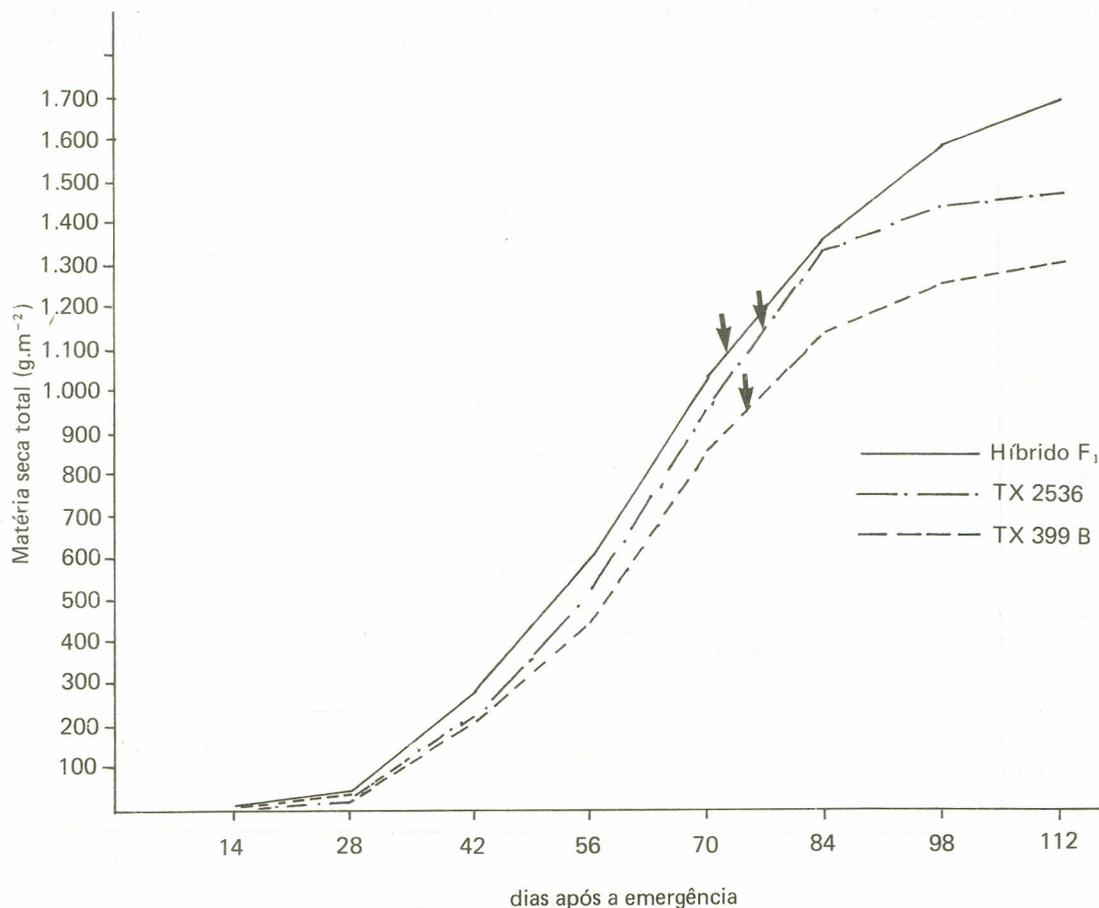


FIG. 3. Variação na matéria seca total (W_t) de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em função dos dias após a emergência (as setas indicam a época de florescimento).

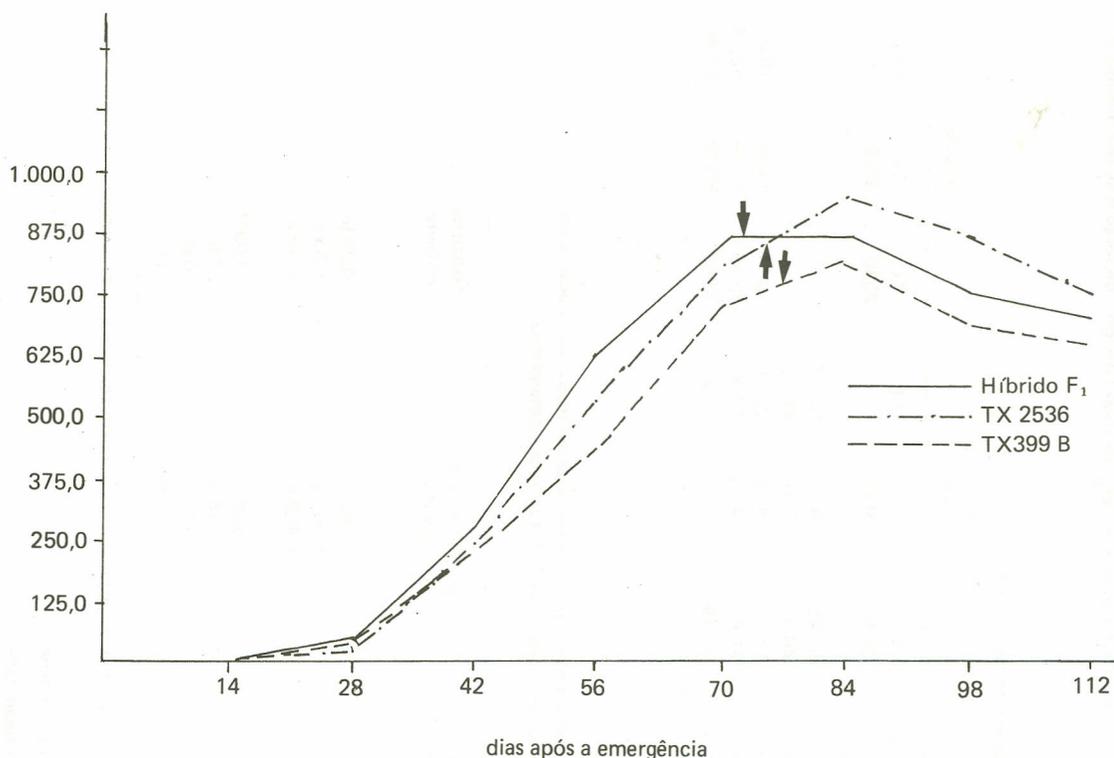


FIG. 4. Variação na matéria seca da parte vegetativa ($W_r + W_c + W_f$) de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em função dos dias após a emergência (as setas indicam a época de florescimento).

A distribuição percentual da matéria seca nas diferentes partes das plantas, em função dos dias após a emergência (Tabela 2), indica que ocorreu uma variação seqüencial no acúmulo de matéria seca nos depósitos metabólicos constituídos pelas raízes, folhas, colmos e panículas. No início do ciclo vegetativo, as folhas constituem os depósitos preferenciais de acúmulo de matéria seca. Posteriormente, os colmos passam a constituir o órgão preferencial para o acúmulo dos produtos da fotossíntese, até que, com a emergência das panículas, ocorra nova modificação no padrão de acúmulo de matéria seca e elas se tornem o depósito metabólico definitivo. Segundo Bower (1961), esta variação seqüencial define uma relação de interdependência entre os órgãos da planta.

Heterose no rendimento de grãos, seus componentes primários e índice de colheita

Uma manifestação da heterose, universalmente reconhecida, consiste na obtenção de maiores

rendimentos de grãos pelos híbridos F_1 , que chega a superar suas linhagens progenitoras com significativas margens. Os resultados obtidos no presente estudo, no qual a heterose no rendimento de grãos foi de 60%, tanto em relação à média das linhagens, quanto ao progenitor superior para esta característica (Tabela 3), concordam com os níveis de heterose relatados por vários autores (Beil & Atkins 1967, Chiang & Smith 1967, Kambal & Webster 1966, Kirby & Atkins 1968, Patanothái & Atkins 1971).

Os principais componentes que normalmente são considerados nas análises do rendimento de grãos em sorgo, são o peso de 1.000 grãos e o número de grãos por panícula (Tabela 3). Com relação ao peso de 1.000 grãos, nota-se que o híbrido excedeu significativamente suas linhagens progenitoras, indicando que a heterose foi efetiva na produção de grãos mais pesados. A análise dos dados referentes ao número de grãos por panícula revela que o híbrido foi superior à média dos progenito-

TABELA 2. Distribuição percentual da matéria seca de raízes (W_r), colmos (W_c), folhas (W_f) e panículas (W_p) de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em função dos dias após a emergência.

Dias após a emergência	Percentagens de matéria seca											
	Raízes			Colmos			Folhas			Panículas		
	Tx 2536	Tx 399B	Híbr. F_1	Tx 2536	Tx 399B	Híbr. F_1	Tx 2536	Tx 399B	Híbr. F_1	Tx 2536	Tx 399B	Híbr. F_1
14	31,04	24,29	25,13	17,31	20,76	19,10	51,65	54,95	55,77	—	—	—
42	26,94	24,63	27,53	26,74	27,61	26,59	46,32	47,76	45,88	—	—	—
70	46,94	15,91	13,44	41,22	45,38	47,77	25,73	24,02	22,78	16,11	14,69	16,01
96	12,66	12,80	8,58	32,24	30,12	25,72	15,67	14,14	13,35	39,43	42,94	52,34
112	11,13	10,02	7,49	25,56	27,20	23,14	13,49	12,54	11,51	48,82	50,24	57,86

TABELA 3. Rendimento de grãos, seus componentes e estimativas da heterose nestas características, em relação à média das linhagens parentais (MP) e ao progenitor superior (PS), aos 112 dias após a emergência.

	Rendimento de grãos	Peso de 1.000 grãos	Número de grãos por panícula	Índice de colheita
	kg/ha ⁻¹	g		
Tx 2536	3.772 b ¹	25,8 b	1.280 a	0,29 b
Tx 399B	3.766 b	25,1 b	1.063 b	0,33 b
Híbrido F_1	6.060 a	29,1 a	1.459 a	0,40 a
Heterose				
• MP	2.291**	3,6**	288*	0,09**
(%)	60,8	14,3	24,5	27,5
PS	2.288**	3,3**	179	0,07*
(%)	60,7	12,8	14,0	19,6

¹ Médias seguidas pela mesma letra, para cada característica, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

* Estimativa da heterose significativa ao nível de 5% de probabilidade.

** Estimativa da heterose significativa ao nível de 1% de probabilidade.

res, não diferindo do progenitor superior. Os resultados obtidos com relação aos componentes do rendimento de grãos indicam que, tanto o peso de 1.000 grãos como o número de grãos por panícula, contribuíram para a maior produção do híbrido e concordam com os resultados de Gibson & Schertz e Kambal & Webster (1966).

Quanto ao índice de colheita (K_T) (Tabela 3), observa-se que a superioridade do híbrido fica evidenciada pela magnitude das estimativas obtidas para a heterose, que foram de 27,5% e 19,6%, em relação à média dos pais e ao progenitor superior, respectivamente. Este índice tem sido proposto como um auxiliar na compreensão dos processos envolvidos na produção de grãos, como o crescimento vegetativo, formação dos órgãos de armazenamento e enchimento de grãos. Segundo Wallace et al. (1972), aumentos no índice de colheita refletem aumentos na capacidade fisiológica da planta em translocar e armazenar os produtos da fotossíntese nos órgãos de valor econômico.

Analisando-se conjuntamente o peso de 1.000 grãos, número de grãos por panícula e índice de colheita, pode-se verificar que o híbrido apresentou maior rendimento de grãos do que suas linhagens progenitoras, em função de possuir grãos mais pesados do que as duas linhagens, maior número de grãos do que a linhagem Tx 399B e maior conversão de matéria seca em grãos. Como o número de grãos por panícula da linhagem Tx 2536 não diferiu estatisticamente do híbrido, a limitação na sua produção de grãos parece ser sua baixa capacidade de translocação e acúmulo de matéria seca na panícula.

CONCLUSÕES

1. Os resultados obtidos sugerem que, no híbrido estudado, não existe uma relação simples e direta entre o vigor da plântula nos estádios iniciais de crescimento e o rendimento de grãos. As grandes diferenças entre as produções de grãos do híbrido e das linhagens foram aparentemente causadas por fatores como capacidade de depósito e eficiência de translocação de fotoassimilados, que foram significativamente superiores no híbrido, e que se traduzem no maior peso das panículas e no maior índice de colheita obtido pelo híbrido F_1 .

2. O período de florescimento marca a ocorrência de modificações no padrão de acúmulo de matéria seca, particularmente no híbrido que apresenta a tendência de estabilizar o desenvolvimento vegetativo de suas plantas, indicando que, a partir deste estágio, a panícula passa a ser o sítio preferencial de acúmulo de matéria seca.

3. A heterose no rendimento de grãos do híbrido F_1 manifestou-se por acréscimos de 60%, tanto em relação à média das linhagens parentais quanto ao progenitor superior para esta característica. O vigor híbrido na produção econômica foi decorrente do maior peso de 1.000 grãos e do número de grãos por panícula.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, J.C.S. Analysis of growth and yield of inbred and crossbred maize. *Ann. Appl. Biol.*, 68:81-92, 1971.
- BABU, A.R. & REDDY, P.R. Rate of dry matter production in different plant parts at various stages of growth in sorghum. *Andhra Agric. J.*, 18(3):85-90, 1981.
- BARTEL, A.T. Hybrid vigor in sorghum. *Agron. J.*, 41(4): 147-52, 1949.
- BEIL, G.M. & ATKINS, R.E. Estimates of general and specific combining ability in F_1 hybrids for grain yield and its components in grain sorghum *Sorghum vulgare* Pers. *Crop Sci.*, 7:225-8, 1967.
- BROWER, R. Distribution of dry matter in the plant. *Neth. J. Agric. Sci.*, 10:361-76, 1961.
- CHIANG, M.S. & SMITH, J.D. Diallel analysis of the inheritance of quantitative characters in grain sorghum. I. Heterosis and inbreeding depression. *Can. J. Genet. Cytol.*, 9:44-51, 1967.
- GIBSON, P.R. & SCHERTZ, K.F. Growth analysis of a sorghum hybrid and its parents. *Crop Sci.*, 17(3): 387-91, 1977.
- KAMBAL, A.E. & WEBSTER, O.J. Manifestations of hybrid vigor in grain sorghum and the relations among the components of yield, weight per bushel, and height. *Crop Sci.*, 6(5):513-4, 1966.
- KIRBY, J.S. & ATKINS, R.E. Heterotic response for vegetative and mature plant characters in grain sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Crop Sci.*, 8: 335-9, 1968.

- KRISHNAMURTHY, K.; RAJASHEKARA, B.G.; BOMMEGOWDA, A. & VENUGOPAL, N. Comparative growth and yield of sorghum hybrids and its parents. *Mysore J. Agric. Sci.*, 9(4):596-601, 1975.
- LIANG, G.H.; REDDY, C.R. & DAYTON, A.D. Heterosis inbreeding depression and heritability estimates in a systematic series of grain sorghum genotypes. *Crop Sci.*, 12(4):409-11, 1972.
- MAUNDER, A.B. Meeting the challenge of sorghum improvement. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, 24., Chicago, EUA, 1969. *Proceedings...* s.l., Am. Seed Trade Assoc., 1969. p.135-51.
- PATANOTHAI, A. & ATKINS, R.E. Heterotic response for vegetative growth and fruiting development in grain sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Crop Sci.*, 11(6):839-43, 1971.
- QUINBY, J.R. Leaf and panicle size of sorghum parents and hybrids: *Crop Sci.*, 10(3), 251-3, 1970.
- QUINBY, J.R. Manifestations of hybrid vigor in sorghum. *Crop Sci.*, 3(4):288-91, 1963.
- QUINBY, J.R. The maturity genes of sorghum. *Av. Agron.*, 19:267-305, 1967.
- QUINBY, J.R. *Sorghum improvement and the genetics of growth*. College Station, Texas A & M Univ. Press, 1974. 108p.
- QUINBY, J.R.; KRAMER, N.W.; STEPHENS, J.C.; LAHR, K.A. & LARPER, R.E. Grain sorghum production in Texas. *Tex. Agric. Exp. Stn. Bull.*, (912), 1958.
- RANGANATHAN, S.R. & RACHE, K.O. Heterosis in growth rates for dry matter production in certain sorghum strains. *Madras Agric. J.*, 57(7):333-7, 1967.
- RAO, N.G. & VENKATESWARLU, J. Heterosis in relation to dry matter production and nutrient uptake. *Indian J. Genet. Plant Breed.*, 31(1):156-76, 1971.
- SINHA, S.K. & KHANNA, R. Physiological, biochemical and genetic basis of heterosis. *Adv. Agron.*, 27:123-74, 1975.
- VANDERLIP, R.K. *How a sorghum plant develops*. Manhattan, Kansas State Univ., 1972. 19p. (Contribution, 1203).
- WALLACE, D.H.; OZBUN, J.L. & MUNGER, H.M. Physiological genetics of crop yield. *Adv. Agron.*, 24:97-146, 1972.
- YOSHIDA, S. Physiological aspects of crop yield. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 23:437-64, 1972.