

1983.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE FITOMELHORAMENTO

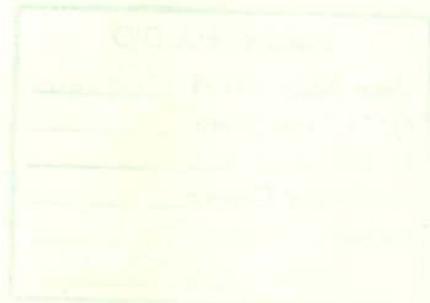
Heterose na produção biológica
1983 TS - T.01/83



2469 - 1

HETEROSE NA PRODUÇÃO BIOLÓGICA DE SORGO GRANÍFERO
Sorghum bicolor (L.) Moench

Dissertação apresentada para obtenção do
Grau de Mestre por RENATO ANTONIO BORGO
NOVI, pesquisador da EMBRAPA, sob a orien
tação do Professor Antonio Ernani Pinto
da Silva Fº.



PELOTAS - RIO GRANDE DO SUL - BRASIL

1983

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO

ORIENTADOR:

Eng. Agr. Antonio Ernani Pinto da Silva Fº, Professor
Adjunto

CO-ORIENTADORES:

Benedito Gomes dos Santos Fº, M.Sc.

Paulo Silveira Jr., M.Sc.

COMISSÃO EXAMINADORA

PRESIDENTE:

Antonio Ernani Pinto da Silva Fº.

SECRETÁRIO:

Francisco Elifalete Xavier, M.Sc.

Antônio André Amaral Raupp, M.Sc.

Flávio Luiz da Cunha Gastal, M.Sc.

HOMENAGEM

A MEUS PAIS E MINHAS
IRMÃS, EXEMPLOS DE
ESFÔRÇO E DEDICAÇÃO

A MINHA ESPOSA LUCIA
E A MEUS FILHOS
RENATO E ROBERTA

DEDICO

SUMÁRIO

	PÁGINA
COMITÊ DE ORIENTAÇÃO	ii
DEDICATÓRIA	iii
SUMÁRIO	iv
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vi
LISTA DE TABELAS	vii
AGRADECIMENTOS	ix
SINOPSE	x
INTRODUÇÃO	1
1 - REVISÃO DA LITERATURA	3
1.1 - Aspectos gerais da heterose	3
1.2 - Manifestações da heterose em sorgo	4
2 - MATERIAL E MÉTODOS	10
2.1 - Generalidades	10
2.2 - Dados meteorológicos	11
2.3 - Tratamentos e delineamento experimental	11
2.4 - Obtenção dos dados e análise estatística	12
2.4.1 - Altura de planta e número de folhas por planta	12
2.4.2 - Florescimento	13
2.4.3 - Matéria seca	13
2.4.4 - Área foliar e índice de área foliar	13
2.4.5 - Índice de colheita	13
2.4.6 - Peso de 1000 grãos	14
2.4.7 - Heterose	14
3 - RESULTADOS	16
3.1 - Dados meteorológicos	16
3.2 - Altura de planta, número de folhas por planta e índice de área foliar	16
3.3 - Florescimento	19
3.4 - Matéria seca	19
3.5 - Rendimento de grãos, peso de 1000 grãos, número de grãos por panícula e índice de colheita	25

	PÁGINA
4 - DISCUSSÃO	37
5 - CONCLUSÕES	45
SUMMARY	46
APÊNDICE	48
BIBLIOGRAFIA	53

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA		PÁGINA
01	Precipitação pluviométrica diária durante o período experimental. Pelotas - RS, 1976/77	17
02	Temperaturas máximas, médias e mínimas do ar, durante o período experimental. Pelotas - RS, 1976/77	17
03	Umidade relativa média diária durante o período experimental. Pelotas - RS, 1976/77	18
04	Radiação solar global diária durante o período experimental. Pelotas, RS, 1976/77	18
05.	Variação no Índice de área foliar (L), de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F ₁ , em função dos dias após a emergência. Pelotas - RS, 1976/77	23
06.	Variação na matéria seca de raízes (W _r) de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F ₁ , em função dos dias após a emergência. Pelotas - RS, 1976/77	26
07	Variação na matéria seca de colmos (W _c) de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F ₁ , em função dos dias após a emergência. Pelotas - RS, 1976/77.....	27
08	Variação na matéria seca de folhas (W _f) de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F ₁ , em função dos dias após a emergência. Pelotas - RS, 1976/77.....	28
09	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. Pelotas - RS, 1976/77.....	29
10	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. Pelotas - RS, 1976/77.....	30
11	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. Pelotas - RS, 1976/77.....	31

LISTA DE TABELAS

TABELA		PÁGINA
I	Análise química do solo	10
II	Modelo da análise da variância dos dados obtidos durante o ciclo vegetativo de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em oito épocas de coleta. Pelotas - RS, 1976/77....	12
III	Altura de planta, número de folhas por planta e índice de área foliar (L), de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em oito épocas de coleta. Pelotas - RS, 1976/77....	20
IV	Estimativas da heterose, em relação à média das linhagens progenitoras (MP) e ao progenitor superior (PS), na altura de planta, no número de folhas por planta e no índice de área foliar (L) do híbrido F_1 de duas linhagens de sorgo, em oito épocas de coleta. Pelotas - RS, 1976/77.....	21
V	Estimativas da heterose, em relação à média das linhagens progenitoras (MP) e ao progenitor superior (PS), no período para o florescimento em dias para 50% de antese, do híbrido F_1 de duas linhagens de sorgo. Pelotas - RS, 1976/77...	22
VI	Produção de matéria seca de raízes (w_r), colmos (w_c), folhas (w_f), panículas (w_p), e de matéria seca total (w_t), de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 em oito épocas de coleta. Pelotas - RS, 1976/77	32
VII	Estimativas da heterose, em relação à média das linhagens progenitoras (MP) e ao progenitor superior (PS), na produção de matéria seca de raízes (w_r), colmos (w_c), folhas (w_f), panículas (w_p) e na produção de matéria seca total (w_t) do híbrido F_1 de duas linhagens de sorgo, em oito épocas de coleta. Pelotas - RS, 1976/77	33
VIII	Valores percentuais 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 oito épocas de coleta. Pelotas - RS, 1976/77.	34
IX	Rendimento de grãos, peso de 1000 grãos, número de grãos por panícula, e índice de colheita (K_r) de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , aos 112 dias após a emergência. Pelotas - RS, 1976/77	35

TABELA		PÁGINA
X	Estimativas da heterose, em relação à média das linhagens progenitoras (MP) e ao progenitor superior (PS), no rendimento de grãos, peso de 1000 grãos, número de grãos por panícula e no índice de colheita (K_h) do híbrido F_1 de duas linhagens de sorgo, aos 112 dias após a emergência. Pelotas - RS, 1976/77.....	36
XI Apêndice	Resumo da análise de variância dos dados de altura de planta (cm), número de folhas por planta e índice de área foliar de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em oito épocas de coleta. Pelotas - RS, 1976/77	49
XII Apêndice	Resumo da análise de variância dos dados de matéria seca de raízes (W_r), colmos (W_c), folhas (W_f) e de matéria seca total (W_t) em $g.m^{-2}$, de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em oito épocas de coleta. Pelotas - RS, 1976/77.	50
XIII Apêndice	Resumo da análise da variância dos dados de matéria seca de panículas (W_p), em $g.m^{-2}$, de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em quatro épocas de coleta. Pelotas-RS, 1976/77.....	51
XIV Apêndice	Resumo da análise da variância dos dados de florescimento, em dias para 50% de antese, produção de grãos, em $kg.ha^{-1}$, número de grãos por panícula, peso de 1000 grãos, em g, e índice de colheita de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 . Pelotas - RS, 1976/77.....	52

AGRADECIMENTOS

Os meus sinceros agradecimentos,

Ao Prof. Antonio Ernani Pinto da Silva Filho, pela orientação na realização deste trabalho e pelo apoio oferecido durante todo o curso;

Aos Professores Benedito Gomes dos Santos Filho e Paulo Silveira Junior, pelas sugestões e discussões sobre o trabalho;

Ao Dr. Magno A. P. Ramalho pelas valiosas críticas e sugestões sobre vários aspectos desta dissertação;

À Chefia do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, pelo apoio recebido durante a elaboração final deste trabalho;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, pela oportunidade concedida para a realização deste curso;

Aos colegas do curso de Fitomelhoramento, engº agrº Nilson Lemos de Menezes e biólogo Neif Olavo G. Satta Alam, pela amizade e apoio;

À UEPAE/Pelotas, pelas facilidades concedidas para a condução deste trabalho;

Aos funcionários do Setor de Serviços Auxiliares do CNP - Milho e Sorgo, Sr. Juarez da Silva, Srtas. Vânia Maria Reis Lopes e Suely G. Castanheira, pela cuidadosa datilografia do texto;

Especial agradecimento à minha esposa, Lúcia, por seu carinho, apoio e compreensão.

SINOPSE

Com o objetivo de se determinar a ocorrência da heterose na produção biológica de sorgo e seus reflexos na produção econômica, foram avaliadas as seguintes características de um híbrido F_1 de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] e suas linhagens progenitoras (TX 2536 e TX 399 B), 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 e de matéria seca total, rendimento de grãos, número de grãos por panícula, peso de 1000 grãos e índice de colheita. A heterose foi estimada em relação à média das linhagens progenitoras e ao progenitor superior para cada característica.

As duas linhagens e o híbrido foram avaliados no delineamento experimental de blocos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. Para a obtenção dos dados foram realizados oito coletas de material, a intervalos de 14 dias, sendo que a primeira coleta foi realizada aos 14 dias após a emergência. O experimento foi conduzido em Pelotas, RS, no ano agrícola de 1976/77.

O híbrido desenvolveu-se mais rapidamente do que as linhagens, apresentando maior altura de planta durante todo o ciclo vegetativo, ainda que as diferenças obtidas até os 56 dias após a emergência não tenham sido estatisticamente significativas. 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, sendo que as diferenças foram significativas a partir dos 70 dias após a emergência em relação à média das linhagens, e a partir dos 98 dias após a emergência, em relação ao progenitor superior.

A distribuição porcentual 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, determinando a obtenção de maior produção de grãos, como pode ser observado pelos níveis da heterose estimados para o índice de colheita, que foram 27,5% e 19,6%, em relação à média dos progenitores e ao progenitor superior, respectivamente. O florescimento do híbrido foi mais precoce do que o de suas linhagens parentais. O período da antese marca a modificação no padrão de acúmulo de matéria seca nas partes das plantas, particularmente no híbrido que define sua maior capacidade em acumular fotoassimilados em sua estrutura reprodutiva.

A heterose foi significativa para o rendimento de grãos do híbrido, atingindo os percentuais de 60,79% e 60,66%, respectivamente em relação à média dos pais e ao progenitor superior para esta característica. A heterose também foi efetiva com relação aos componentes primários do rendimento - o peso de 1000 grãos e o número de grãos por panícula - tendo o híbrido superado significativamente seus progenitores com relação ao primeiro componente, e alcançado diferença significativa no segundo, com relação à média das linhagens parentais.

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma gramínea que se situa entre os quatro cereais de maior importância no mundo, juntamente com o trigo, o arroz e o milho (21).

Ainda existem dúvidas quanto ao centro de origem do sorgo, porém, as evidências favorecem a teoria proposta por VAVILOV citado por DOGGETT (17), que indica a região atualmente conhecida como Etiópia como o centro de origem do sorgo cultivado. A partir do centro etíope, o sorgo foi introduzido no continente americano, provavelmente nos Estados Unidos da América, através do tráfico de escravos (DOGGETT, 17). Porém, somente após o lançamento de híbridos comerciais desenvolvidos através do uso da macho-esterilidade genético-citoplasmática foi que essa cultura passou a exibir os elevados níveis de produtividade que contribuíram para sua rápida expansão em vários países das Américas (MAUNDER, 37).

A heterose tem sido objeto de muitos trabalhos e de grande especulação por parte dos geneticistas, que buscaram elucidar suas bases genéticas. 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 (5), vários estudos tem demonstrado os efeitos da heterose sobre vários caracteres agrônômicos, incluindo a produção de grãos e seus componentes. Porém, a maior parte dos estudos tem se restringido 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 alii, 29; PATANOTHAI & ATKINS, 44; QUINBY, 48; RANGANATHAN & RACHIE, 54; RAO & VENKATESWARLU, 56). Assim, existem poucas informações a respeito do comportamento de híbridos F_1 de sorgo em relação a suas linhagens progenitoras,

durante o ciclo vegetativo.

Em seu artigo sobre a fotossíntese e a teoria de obtenção de elevadas produtividades, NICHIPOROVICH, citado por YOSHIDA (69), 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.

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 seu ciclo vegetativo, e seus reflexos na produção econômica.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Aspectos Gerais da heterose

A heterose, um fenômeno que vem sendo utilizado para a obtenção de acrês cimos na produção de muitas espécies cultivadas, tem sido observado há vários sê culos (ZIRKLE, 76). Segundo WITWER (75), desde que a heterose passou a ser extensivamente utilizada em milho, a relação de culturas nas quais o fenômeno tem conduzido a ganhos econômicos está constantemente aumentando. Entretanto, apesar de sua reconhecida importância e do interesse que tem despertado, os mecanismos da heterose ainda não foram satisfatoriamente explicados.

O termo heterose foi proposto por SCHULL em 1914, a fim de substituir ex pressões como "estímulos da heterozigose" (HAYES, 25). SCHULL (59) definiu a heterose como a causa imediata do vigor do híbrido. Desse modo, o vigor híbrido é a ex pressão fenotípica da heterose, ou seja, a heterose e o vigor híbrido apresentam uma relação de causa e efeito. Segundo ALLARD (2) a heterose pode ser defini- da como um vigor híbrido tal que o híbrido F_1 fique situado fora do intervalo de seus progenitores com relação a uma ou várias características agrônomicas.

O que caracteriza a utilização da heterose é o aproveitamento das quali dades exibidas pelo híbrido na geração F_1 , o que segundo PATERNIANI (45), apresen ta, entre outras, as seguintes vantagens:

- a) Possibilita a associação no mesmo indivíduo, de caracteres que estão separados em progenitores distintos;
- b) permite a obtenção, num prazo relativamente curto, de genótipos supe riores com utilização prática;
- c) permite a obtenção de um melhoramento genético substancial, possível devido à utilização de interações gênicas que só podem ser aproveita das na geração F_1 ;

- d) possibilita a obtenção de genótipos com maior adaptabilidade, cujas produções oscilam menos entre locais e anos distintos, exibindo a propriedade denominada homeostase.

As diversas interpretações e explicações que tem sido aplicadas ao fenômeno da heterose, derivam segundo SINHA & KHANNA (60), da extensão dos conceitos de que a hibridação pode promover maior possibilidade para a expressão dos genes dominantes que ocorrem nos progenitores, e de que a heterozigose, "per se", pode ser mais efetiva do que a homozigose. Entre elas, duas teorias tem merecido grande destaque, desde sua proposição no início desse século: a hipótese da dominância e a hipótese da sobredominância.

A hipótese da dominância afirma que o vigor híbrido resulta da ação e interação de alelos dominantes, que muitas vezes apresentam-se ligados (BREWBAKER, 11). Nessa teoria, considera-se que a ocorrência de alelos dominantes conduz ao melhor desenvolvimento e expressão do genótipo. Desde que o processo de endogamia do híbrido resultaria na homozigosidade parcial dos alelos recessivos, explica-se a depressão determinada por esse processo. Por outro lado, a autofecundação de um híbrido deveria conduzir à obtenção de uma linhagem homozigota, dominante para todos os loci e teoricamente, semelhante ao F_1 . Esse fato ainda não foi constatado.

A hipótese da sobredominância supõe que a heterozigose "per se" é necessária para a completa expressão da heterose, não sendo possível a obtenção de um homozigoto que se equipara ao heterozigoto (BREWBAKER, 11).

Outras teorias tem sido propostas para a explicação da heterose, relacionando-a com estímulos fisiológicos, complementação aos níveis celular e subcelular, metabolismo balanceado e fatores hormonais, sem que se obtenham resultados conclusivos (SINHA & KHANNA, 60). Assim sendo, estudos detalhados devem ser conduzidos com o objetivo de se confirmar as teorias propostas.

1.2. Manifestações da heterose em sorgo

Até 1932, a avaliação da heterose em sorgo foi bastante dificultada pela inexistência de um método prático de emasculação. Em 1933, o desenvolvimento de uma metodologia para a emasculação com água quente (STEPHENS & QUINBY, 63) possibilitou a produção de sementes híbridas em maior quantidade, estimulando os esforços dirigidos ao desenvolvimento de um método mais viável de produção de híbridos de sorgo. Entretanto, o lançamento de híbridos comerciais de sorgo somente foi possível na década de 50, com a utilização da macho-esterilidade genéti-

co-citoplasmática (QUINBY, 51).

QUINBY (51) considera que, se as produções de grãos e de matéria seca são medidas do desempenho da planta, o vigor híbrido deve necessariamente manifestar-se através de diferenças morfológicas entre as linhagens progenitoras e os híbridos, que podem indicar a natureza e os mecanismos envolvidos na heterose.

Segundo KARPER & QUINBY (27), a mais evidente expressão da heterose foi um aumento no ciclo e no desenvolvimento vegetativo de híbridos de sorgo. Além disso, vários autores consideram a obtenção de maiores produções de grãos como uma manifestação universalmente reconhecida da heterose em sorgo (QUINBY et alii, 53; QUINBY, 48; NIEHAUS & PICKET, 43; KAMBAL & WEBSTER, 26; CHIANG & SMITH, 14; BEIL & ATKINS, 6; KIRBY & ATKINS, 28; NAGUR & MURTY, 42; PATANOTHAI & ATKINS, 44).

QUINBY & KARPER (52) apresentaram evidências de que sob certas condições, maior altura de planta e ciclo longo podem ser devidas à complementação da ação dos genes envolvidos na determinação dessas características, ou por condições heteróticas em um locus simples ao invés do vigor híbrido "per se".

Os resultados obtidos por ARNON & BLUM, citados por GIBSON e SCHERTZ (24), indicam que um híbrido de sorgo apresentou maior peso de matéria seca do que suas linhagens progenitoras, durante as primeiras semanas após a emergência. Esses autores também observaram que, na maturação, o híbrido apresentou menor peso seco de folhas do que as linhagens, alcançando porém uma produção de grãos significativamente superior às das linhagens progenitoras.

QUINBY (50) avaliou o desenvolvimento da área foliar e das panículas de híbridos F_1 de sorgo e de suas linhagens progenitoras durante o período compreendido entre a iniciação das estruturas florais e a maturação. Os híbridos apresentaram maior área foliar que as linhagens até que sua área foliar máxima foi alcançada. A partir desse ponto, a área foliar dos híbridos foi inferior à das linhagens, tendo o autor concluído que esse fato não constitui uma diferença de importância entre híbridos e seus progenitores, uma vez que as panículas dos híbridos exibiram maior peso do que as panículas das linhagens progenitoras.

Em um estudo da heterose em relação à produção de matéria seca em quatro híbridos de sorgo, RAO & VENKATESWARLU (56) observaram que dois híbridos apresentaram heterose na produção de grãos. A não ocorrência de heterose nos outros híbridos foi atribuída aos baixos índices de colheita obtidos, uma vez que os quatro híbridos exibiram heterose na produção de matéria seca. Os resultados obtidos indicam que os híbridos não heteróticos foram superiores às linhagens progenitoras na produção de matéria seca após o florescimento. Porém, esse acúmulo tardio de matéria seca realizou-se nos colmos, não contribuindo para a produção de grãos.

Os resultados obtidos por PATANOTHAI & ATKINS (44) demonstraram que os híbridos de sorgo que apresentaram alta, média e baixa heterose para produção de grãos, exibiram níveis correspondentes de heterose para o acúmulo de matéria seca no período anterior à emergência da panícula.

NIEHAUS & PICKETT (43) e LAOSUWAN & ATKINS (30) avaliaram o potencial de germoplasma exótico de sorgo através de cruzamentos com linhagens adaptadas. Os maiores níveis de heterose foram observados para produção de grãos e seus componentes primários (peso de 100 grãos e número de grãos por panícula), e para altura de planta. Segundo esses autores, os níveis de heterose, baseados na média das linhagens progenitoras ou no progenitor superior, foram muito superiores aos citados pela literatura, aparentemente devido à diversidade genética do material.

BARTEL (5) estudou as produções de grãos e de matéria seca, altura de planta e peso de 100 grãos de 19 híbridos de sorgo e de nove linhagens progenitoras. Em 16 dos 19 híbridos estudados a produção de grãos foi superior à da média das linhagens progenitoras, com os acréscimos variando entre 5% a 94%. Os híbridos F_1 também apresentaram maiores valores para produção de matéria seca, altura de planta e peso de 100 grãos.

Segundo QUINBY (48) a heterose, em três híbridos de sorgo, caracterizou-se por maior altura de planta, maior número de grãos por panícula, maior peso de 100 grãos e maior produção de matéria seca total. O híbrido que apresentou a maior heterose em comparação à média das linhagens progenitoras, caracterizou-se por possuir, em média, plantas 19% mais altas, produzir 97% mais grãos por panícula, apresentar panículas 96% mais pesadas e um acréscimo na produção de grãos de 106%.

O estudo realizado por CHAVDA (13) em cinco híbridos de sorgo e suas linhagens progenitoras, com o objetivo de estimar as manifestações da heterose, mostrou que esta foi significativa e positiva para altura de planta e produção de matéria seca. Alguns híbridos excederam a média parental de altura de planta em 40%. As produções de matéria seca dos híbridos foram cerca de 60% a 80% superiores às médias parentais respectivas. TARUMOTO & OIZUMI (65) obtiveram um acréscimo significativo na produção de matéria seca de 18 híbridos de sorgo em relação a suas linhagens progenitoras.

Os acréscimos devido à heterose, determinados por KAMBAL & WEBSTER (26), em híbridos de sorgo, para produção de grãos, peso de 100 grãos, número de grãos por panícula, e altura de planta, foram, respectivamente, 20,0%, 4,0%, 9,0% e 12,0% em relação à média dos pais. O acréscimo na produção de grãos foi atribuído ao maior número de grãos por panícula, e, em menor grau, ao acréscimo no peso de 100 grãos.

A natureza da heterose na produção de grãos pela panícula de sorgo foi estudada por BLUM (7). As linhagens progenitoras avaliadas diferiam significa-

tivamente no peso de grãos por panícula e em cada um dos constituintes da panícula. A diferença no peso de grãos por panícula foi atribuída ao peso de 100 grãos. Em seis dos nove híbridos estudados houve significativa heterose para peso de grãos por panícula. Não foi observada heterose para peso de 100 grãos em oito híbridos F_1 . Entretanto, o número de grãos por panícula foi significativamente superior em todos os híbridos estudados, em comparação às suas linhagens progenitoras.

Significativos efeitos heteróticos foram observados para peso de panícula, altura de planta, peso de 100 grãos e dias para o florescimento, por CHIANG & SMITH (14), em um dialélico com sete linhagens de sorgo. Outras características avaliadas também exibiram significativa heterose.

KIRBY & ATKINS (28), avaliando o vigor do híbrido de 24 híbridos F_1 de sorgo, observaram que a heterose foi significativa para a produção de grãos e altura de planta. A produção de grãos mostrou a maior resposta heterótica, com os híbridos produzindo 22% mais do que a média dos pais. Entretanto, esse porcentual foi reduzido a 11% quando os híbridos foram comparados com os progenitores superiores. Os dados obtidos para cada característica, demonstram uma tendência que associa os maiores níveis porcentuais da heterose aos híbridos resultantes de linhagens com baixo desempenho para a característica em questão.

LIANG et alii (31) observaram que a heterose, em relação ao progenitor superior, foi alta para produção de grãos, porém, foi baixa para altura de planta e negativa para o período para florescimento e peso de 100 grãos. Dos cruzamentos envolvendo linhagens com alta capacidade de rendimento foram obtidos os híbridos mais produtivos, porém não foram obtidos os maiores níveis porcentuais de heterose. Os híbridos não apresentaram em média, níveis de produtividade muito superiores às médias dos progenitores, sendo que apenas dois híbridos foram superiores ao progenitor superior. Esse fato foi atribuído à falta de diversidade genética do material utilizado.

ABIFARIN & PICKETT (1) avaliaram a heterose em várias características de 56 híbridos F_1 resultantes do cruzamento de 14 linhagens polinizadoras com quatro linhagens macho-estéreis. Os resultados obtidos revelaram que os maiores níveis de heterose foram obtidos no peso de grãos por panícula e altura de planta, ainda que o vigor híbrido tenha se expressado para todas as características avaliadas.

Em seu trabalho de revisão dos acréscimos na produção de grãos de híbridos de sorgo em relação a suas linhagens progenitoras, DOGGETT (16) concluiu que apesar dos híbridos e variedades apresentarem padrões semelhantes de resposta às modificações ambientais, os híbridos alcançam maiores níveis de produtividade em função do maior número de flores presentes em sua panícula, do acréscimo em sua área fotossintética, e, possivelmente em função do acréscimo em sua atividade fotossintética.

O nível de heterose na área foliar de 15 híbridos F_1 de sorgo foi avaliado por LIANG et alii (32), que obtiveram aumentos significativos na área foliar total e área foliar média dos híbridos em relação às linhagens progenitoras. Essas diferenças foram atribuídas ao mais rápido desenvolvimento dos meristemas dos híbridos.

Os acréscimos na produção biológica de híbridos de milho e de sorgo, determinados por KHANNA et alii, citados por SINHA & KHANNA (60), foram atribuídos a um desenvolvimento mais rápido da área foliar das plântulas híbridas comparadas às linhagens progenitoras. Segundo estes autores, esse fato pode ser devido à distribuição de fotossintetizados em favor do desenvolvimento da área foliar das plântulas dos híbridos, resultando numa elevada taxa fotossintética por planta.

Esses resultados concordam com as conclusões de ALLISON (3), o qual considera que as maiores produções dos híbridos estão associadas a fatores como desenvolvimento da área foliar, taxa de envelhecimento dos tecidos das folhas e capacidade dos sítios de depósito dos fotossintetizados.

Conforme SINHA & KHANNA (60) o sistema radicular e a parte aérea da planta apresentam crescimento altamente interdependente, uma vez que o sistema radicular atuaria como um depósito de fotossintetizados até o desenvolvimento de depósitos definitivos. Consequentemente, é possível que acréscimos no potencial fotossintético da planta possam levar a um maior desenvolvimento do sistema radicular.

Os resultados obtidos por BLUM et alii (8) demonstram que o vigor híbrido em quatro híbridos de sorgo manifestou-se através de um crescimento inicial mais rápido do sistema radicular. Esses dados concordam com a conclusão de QUINBY (48), de que a heterose em sorgo traduz-se principalmente pelo crescimento mais rápido dos órgãos da planta.

Segundo QUINBY (49) o florescimento precoce é uma das características de híbridos F_1 de sorgo que floresceram, em média, 3 a 4 dias antes do que a média de suas linhagens progenitoras. Essa redução foi atribuída por QUINBY & LIANG, citados por QUINBY (51), a reduções na duração do período que precede a iniciação das estruturas florais e no período de desenvolvimento da panícula.

Porém, NIEHAUS & PICKETT (43), e CHIANG & SMITH (14) reportaram o florescimento tardio como um efeito heterótico em sorgo. Esse fato foi explicado por QUINBY (49) como uma ação complementar dos genes de maturação presentes nas linhagens de sorgo incluídas em seus dialélicos.

O termo Índice de colheita foi utilizado por DONALD (18) para designar a porcentagem da produção biológica que representa a produção econômica de uma cultura. Em várias situações, a produção econômica é sinônimo de produção de grãos, e diversos autores tem realçado a importância do índice de colheita na de

terminação da capacidade de rendimento dos cereais (VAN DOBBEN, 67; SINGH & STOSKOPF, 61; DONALD & HAMBLIN, 19). Segundo esses autores, o aumento no índice de colheita representa um acréscimo na capacidade fisiológica da planta em translocar os fotossintetizados para os órgãos de valor econômico, e ali acumulá-los.

DONALD (18) e SINGH & STOSKOPF (61) apresentaram evidências de que o melhoramento genético alcançado no rendimento econômico de várias culturas, deriva, em parte da redistribuição de maiores porcentagens da produção biológica em favor dos órgãos da planta que constituem a produção econômica.

A relação entre a produção econômica e a produção biológica constitui o índice de colheita. Assim, um maior índice de colheita representa uma 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 alii, 70).

Segundo YOSHIDA (69), 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 características.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Generalidades

O experimento foi instalado em 25 de novembro de 1976, no campo experimental da UEPAE de Pelotas, RS, unidade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, situado na latitude de 31°52'00"S e longitude de 52°21'24"W, a uma altitude de 15m acima do nível do mar.

A topografia da área é plana, sendo o solo classificado como Planossolo, de textura argilosa e substrato sedimentar de granito, conforme o Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul (10). O horizonte A desse solo é normalmente representado por A₁ ou A_p, de coloração cinzento-escura ou bruno-acinzentado-escura, franco arenoso, e por um A₂ com textura mais leve, de coloração bruno-acinzentada.

As características químicas do solo são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1
Análise química do solo⁽¹⁾

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	RESULTADOS	INTERPRETAÇÃO
pH	6,20	Acidez Fraca
Al trocável eq.mg/100	0,00	-
Fósforo (P) ppm	21,50	Alto
Potássio (k) ppm	82,50	Médio
Cálcio (Ca) + Magnésio (MG) eq.mg/100g	4,50	Alto
Matéria orgânica (%)	0,67	Baixo

(1) Análise feita no Laboratório de Análises da UEPAE de Pelotas - RS

Após o preparo adequado do solo, a área foi marcada e sulcada, recebendo nos sulcos uma adubação básica correspondente a 10 kg/ha de N, 40 kg/ha de P_2O_5 e 40 kg/ha de K_2O , sob as formas de uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente.

Quarenta dias após a semeadura, efetuou-se uma adubação de cobertura de 40 kg/ha de N. Foram também realizadas três pulverizações de defensivos visando ao controle de pragas [Rhodiatox (3,0 l/ha), Carvin (2,0 kg/ha) e Lorsban (1,5 l/ha)] aos 8, 40 e 104 dias após a semeadura.

2.2. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos na Estação Agroclimatológica de Pelotas, distante cerca de 3 km do local do experimento.

A radiação solar global incidente foi obtida por piranômetro Eppley. Temperaturas máximas, mínimas e médias do ar foram obtidas com termômetro R. Fuess, em abrigo padrão. A precipitação foi determinada por pluviômetro Ville de Paris, e a umidade relativa do ar obtida em psicrômetro.

O clima da região é do tipo Cfa de Köppen, conforme MOTA (40), ou seja, clima mesotérmico, de chuvas bem distribuídas e verão quente.

2.3. Tratamentos e delineamento experimental

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 5,00m de comprimento, com espaçamento de 0,70m, sendo consideradas como bordaduras as fileiras externas e 0,50m das extremidades das subparcelas. Desse modo, a área útil das subparcelas foi de 5,60m².

Foram semeadas 45 sementes por metro linear de sulco das linhagens Tx 2536, Tx 399B e de seu híbrido Ag Exp. 76002, fornecidas pela empresa Agrocere S.A. Posteriormente, através do desbaste, o "stand" foi ajustado para 15 plantas por metro linear, correspondente a uma população de aproximadamente 210.000 plantas por hectare.

2.4. Obtenção de dados e análise estatística

Para a obtenção dos dados foram realizadas coletas sucessivas de plantas, a intervalos de 14 dias, sendo a primeira realizada 14 dias após a emergência da cultura no dia 16 de dezembro de 1976, e a última no dia 25 de março de 1977, totalizando oito coletas. Em cada época foram coletadas ao acaso, dez plantas de cada cultivar, por repetição, e os dados de altura de planta, número de folhas por planta, área foliar e matéria seca obtidos foram submetidos à análise da variância segundo o modelo apresentado na Tabela II. As comparações entre as médias foram realizadas através da aplicação dos testes de Tukey e "t" (PIMENTEL GOMES, 46).

TABELA II

Modelo da análise de variância dos dados obtidos durante o desenvolvimento de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em oito épocas de coleta. Pelotas (RS), 1976/77

F.V.	G.L.
Blocos	3
Épocas	7
Erro (a)	21
Cultivares dentro de E_1	2
Cultivares dentro de E_2	2
Cultivares dentro de E_3	2
Cultivares dentro de E_4	2
Cultivares dentro de E_5	2
Cultivares dentro de E_6	2
Cultivares dentro de E_7	2
Cultivares dentro de E_8	2
Erro (b)	48

2.4.1. Altura de planta e número de folhas por planta

A altura de planta foi medida do nível do solo até a inserção da última folha totalmente aberta, nas coletas que precederam a emergência da panícula. Após esse estágio, a medida foi tomada até o ápice da mesma (RAO & MURTY, 55).

Em cada coleta foi também determinado o número de folhas por planta.

2.4.2. Florescimento

Considerou-se como data de florescimento de cada cultivar, o dia em que 50% das panículas da área útil da parcela alcançaram a antese.

2.4.3. Matéria seca (W)

As plantas colhidas em cada época foram separadas em partes (raízes, colmos, folhas e panículas) e secas em estufa com ventilação forçada, à temperatura de 80°C, onde permaneceram até apresentarem peso constante. O sistema radicular foi extraído juntamente com o bloco de terra envolvente, e lavado sobre peneira para eliminação da terra, antes de ser levado à estufa para determinação do peso seco.

2.4.4. Área foliar (AL) e índice de área foliar (L)

A área foliar (AL) foi determinada em cada coleta através de discos de folhas obtidos por meio de punção, segundo WATSON, 72; DE SAIBRO, 15; LOPES, 34; LOPES, 35; SANTOS FILHO, 57; XAVIER, 68. Através do peso seco desses discos e da matéria seca das folhas foi calculada a área foliar. No cálculo da área foliar não foram consideradas as bainhas das folhas, uma vez que, segundo STICKER & PAULI (64), as bainhas não contribuem significativamente para a produção.

O índice da área foliar (L) foi definido por WATSON (73) como a área foliar de uma cultura por unidade de área de solo, podendo ser considerado como uma medida do sistema fotossintético da planta. Os valores do índice de área foliar (L) foram obtidos dividindo-se os valores da área foliar média de dez plantas pela área de solo ocupada por essas plantas.

2.4.5. Índice de colheita (K_r)

O índice de colheita (K_r) foi definido por DONALD (18) como a relação entre o peso de grãos e a matéria seca total da planta. Entretanto, DONALD & HAMBLIN (19) apesar de considerarem a matéria seca de raízes como um dos constituintes da matéria seca total, recomendam que o cálculo de K_r seja feito utilizando

do-se somente a matéria seca da parte aérea da planta. O índice de colheita é, por definição, um fator menor do que a unidade, que usualmente varia entre 0 e 0,55 ainda que alguns autores utilizem a forma porcentual de K_p . O índice de colheita foi estimado utilizando-se os dados de matéria seca de grãos e da parte aérea das plantas, obtidas na oitava época de coleta.

2.4.6. Peso de 1000 grãos

Para estimar o peso de 1000 grãos foi utilizada a seguinte metodologia (9): foram pesadas oito amostras de 100 grãos tomadas ao acaso, e a seguir, foi calculado o coeficiente de variação (CV) dos valores determinados. Se o CV não exceder 4,0%, o peso de mil grãos será igual ao peso médio de 100 grãos multiplicado por dez. Em caso contrário, se o CV for superior a 4,0%, outras oito amostras de 100 grãos deverão ser pesadas, e, após calculado o desvio padrão das 16 amostras, o resultado será obtido desprezando-se todas as amostras cuja variação em torno da média seja superior ao desvio padrão assim obtido.

2.3.7. Heterose

A detecção da heterose não necessita de estimativas estatísticas, uma vez que quando o híbrido F_1 é superior a qualquer um dos pais (P), a existência do vigor híbrido e da heterose é óbvia. Entretanto, de modo geral nos estudos genéticos da heterose, a geração F_1 , é comparada com a média dos progenitores (PATERNIANI, 45). Assim, a heterose é medida como a diferença entre os valores da geração F_1 e da média dos progenitores, para a característica considerada, através da seguinte expressão:

$$\text{Heterose} = F_1 - \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right)$$

onde, P_1 e P_2 são os progenitores do híbrido F_1

Porém, frequentemente a heterose é expressa como porcentagem em relação à média dos pais ou em relação ao progenitor superior (PATERNIANI, 45; SINHA & KHANNA, 60; WALTON, 71), e calculada através das seguintes expressões:

$$\text{Heterose} = \frac{F_1 - \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right)}{\left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right)} \times 100 \text{ (a)}$$

ou

$$\text{Heterose} = \frac{F_1 - \text{Progenitor superior}}{\text{Progenitor superior}} \times 100 \text{ (b)}$$

No presente estudo foram utilizadas as expressões (a) e (b), objetivando-se a comparação dos valores da heterose obtidos para as características avaliadas, a partir da expressão clássica (a), com aqueles obtidos através da expressão prática (b).

3. RESULTADOS

3.1. Dados meteorológicos

Nas Figuras 1, 2, 3 e 4 estão representados os dados diários de precipitação pluviométrica, temperaturas máximas, médias e mínimas do ar, umidade relativa do ar e radiação solar global, respectivamente, durante o período do experimento.

A precipitação no período de novembro a março totalizou 616mm, superior à média de precipitação (470mm) para 15 anos em igual período (MOTA et alii, 41). Nos meses de dezembro de 1976 e janeiro de 1977 as precipitações atingiram 117mm e 121mm, respectivamente, valores mais elevados que a média da região. Em fevereiro e março de 1977, registraram-se, respectivamente, 182mm e 97mm, totais bem superiores à média da região.

Desse modo, ocorreu uma distribuição anormal de chuvas, que apesar de satisfatória no início do ciclo, mostrou-se excessiva no decorrer do mesmo, prejudicando o desenvolvimento normal da cultura.

As temperaturas máximas, médias e mínimas registradas acompanharam os altos valores que normalmente se apresentam nos meses de dezembro a março. A umidade relativa do ar apresentou valores elevados durante o período, fenômeno normal para a região.

A radiação solar global incidente apresentou valores mais elevados nos meses de dezembro de 1976 e janeiro de 1977, decrescendo até o final do período.

3.2. Altura de planta, número de folhas por planta, e índice de área foliar

As médias de altura de planta, do número de folhas por planta e do índice de área foliar das linhagens de sorgo e de seu híbrido F₁, e os valores da

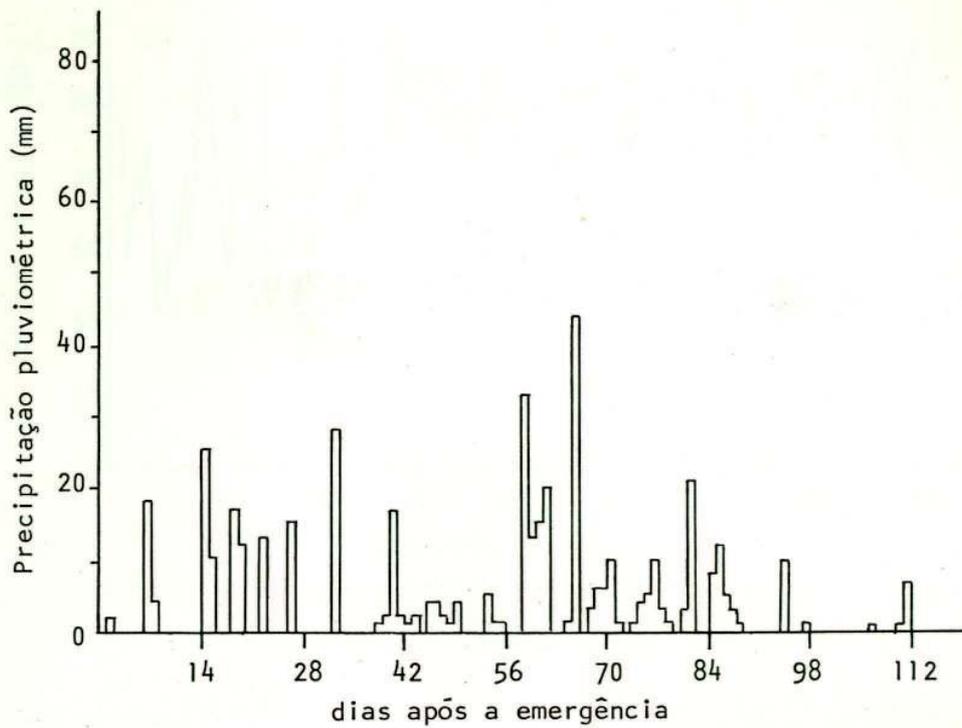


FIGURA 1. Precipitação pluviométrica diária durante o período experimental. Pelotas (RS), 1976/77

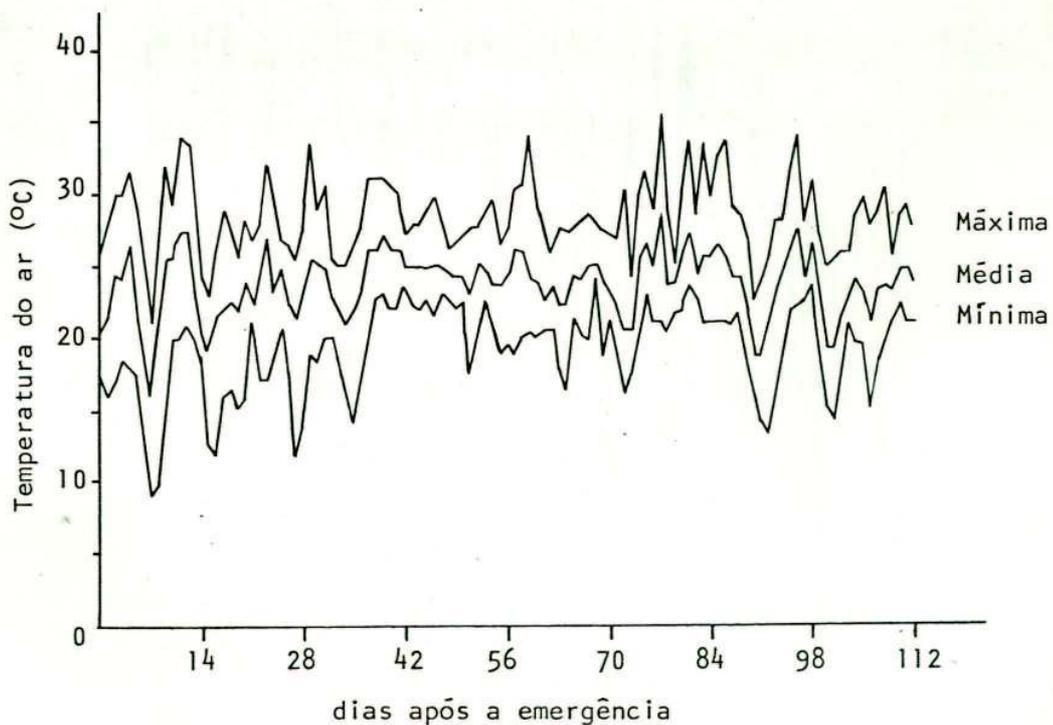


FIGURA 2. Temperaturas máxima, média e mínima diárias, do ar, durante o período experimental. Pelotas (RS), 1976/77

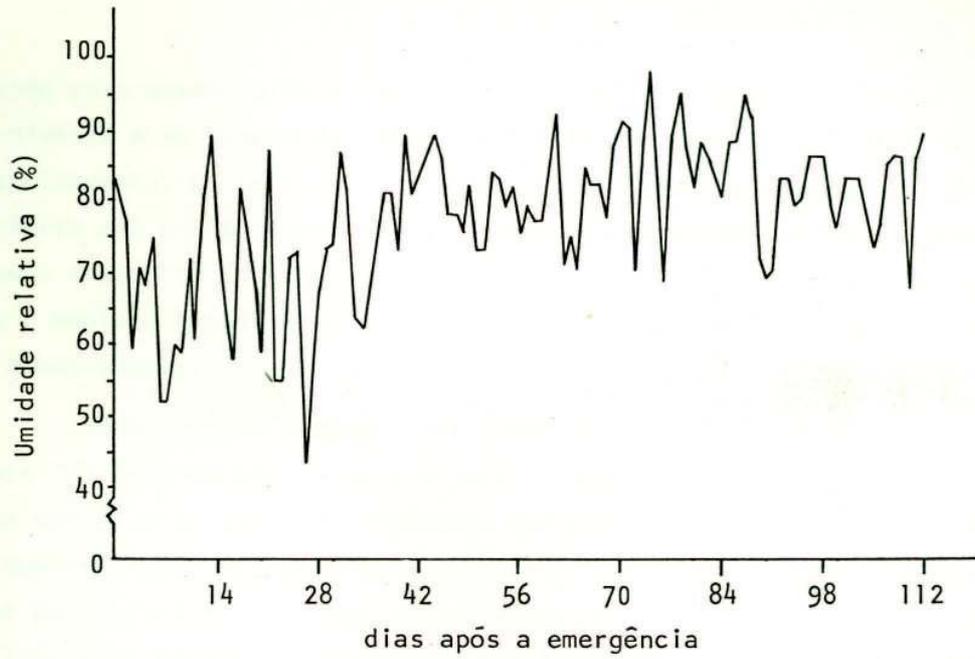


FIGURA 3. Umidade relativa média diária durante o período experimental. Pelotas (RS), 1976/77

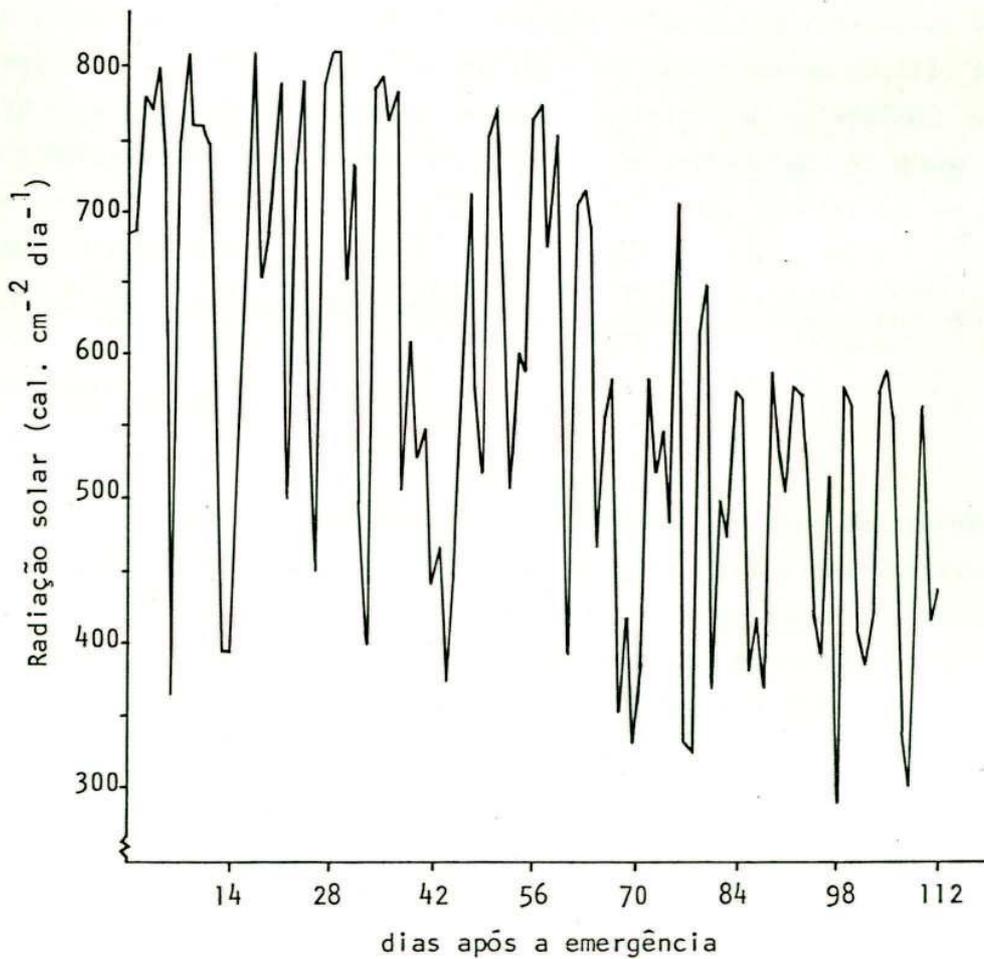


FIGURA 4. Radiação solar global diária durante o período experimental. Pelotas (RS), 1976/77

heterose para essas características, estimados em relação à médias das linhagens progenitoras e ao progenitor superior, são apresentados nas Tabelas III e IV, respectivamente. Os valores da altura da planta alcançados pelo híbrido F_1 foram superiores aos verificados para as linhagens parentais em todas as coletas, sendo que o teste "t" indicou significância para as estimativas da heterose, em relação à média dos pais e ao progenitor superior, obtidas a partir dos 70 dias após a emergência.

Também para a característica número de folhas por planta, observa-se que o teste "t" indicou significância para a heterose em relação à média dos pais, obtida aos 56 dias após a emergência. Nota-se que no híbrido F_1 , o número de folhas aumentou mais rapidamente do que nas linhagens, atingindo o máximo de 12,03 folhas por planta aos 56 dias após a emergência (Tabela III). As reduções que se verificaram no número de folhas do híbrido e das linhagens foram atribuídas à amostragem.

O índice de área foliar (L) do híbrido F_1 apresentou estimativas superiores ao L das linhagens parentais até os 56 dias após a emergência. A partir desse ponto, o L do híbrido passa a assumir valores intermediários ao L das linhagens, até o final do ciclo vegetativo. Seu valor máximo (6,11) foi atingido aos 70 dias após a emergência. Entretanto, o teste "t" só indicou significância para a heterose em relação à média dos pais, observada aos 42 e aos 56 dias após a emergência. As tendências do índice de área foliar das linhagens e do híbrido F_1 estão representadas na Figura 5.

3.3. Florescimento

Os dados do período para o florescimento, em dias da emergência até 50% de antese, são apresentados na Tabela V. As diferenças significativas para esse caráter, indicados pelo teste "t", demonstram o comportamento diferencial das linhagens e do híbrido F_1 . As estimativas da heterose em relação à média das linhagens progenitoras (-5,0%) e ao progenitor superior (-4,0%), caracterizam a maior precocidade do híbrido.

3.4. Matéria seca

Os dados referentes à produção de matéria seca de raízes, colmos, folhas, panículas e à produção de matéria seca total, e as estimativas referentes à heterose para essas características, estimadas em relação à média dos pais e ao progenitor superior, são apresentados nas Tabelas VI e VII, respectivamente. Nas

TABELA III

Altura de planta, número de folhas por planta e índice de área foliar de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F₁, em oito épocas de coleta. Pelotas - RS, 1976/77.

DIAS APÓS A EMERGÊNCIA	ALTURA DE PLANTA (cm)			NÚMERO DE FOLHAS POR PLANTA			ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR		
	TX 2536	TX 399 B	Híbrido F ₁	TX 2536	TX 399 B	Híbrido F ₁	TX 2536	TX 399 B	Híbrido F ₁
14	4,28 a ^{1/}	5,40 a	5,75 a	6,48 a	6,30 a	6,60 a	0,08 a	0,10 a	0,15 a
28	11,35 a	16,65 a	17,00 a	8,93 a	9,18 a	9,58 a	0,33 a	0,55 a	0,59 a
42	23,53 a	25,98 a	29,48 a	9,28 a	9,30 a	9,85 a	3,24 ab	2,99 b	3,78 a
56	41,48 a	36,40 b	44,18 a	11,40 a	10,53 b	12,03 a	5,57 ab	4,80 b	6,09 a
70	103,00 b	104,95 b	128,38 a	11,60 ab	10,80 b	11,68 a	6,53 a	5,39 b	6,11 ab
84	118,56 b	105,10 c	127,00 a	11,00 ab	10,20 b	11,10 a	6,07 a	5,44 a	5,63 a
98	117,75 b	109,58 c	136,68 a	11,48 ab	10,83 b	11,63 a	5,92 a	4,64 b	5,54 ab
112	120,20 b	109,40 c	135,58 a	11,15 a	10,78 a	11,50 a	5,21 a	4,27 b	5,06 ab

^{1/} Médias seguidas pela mesma letra, nas linhas horizontais, para cada característica, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA IV

Estimativas da heterose, em relação à média das linhagens progenitoras (MP) e ao progenitor superior (PS), na altura de planta, no número de folhas por planta e no Índice de área foliar do híbrido F₁ de duas linhagens de sorgo, em oito épocas de coleta. Pelotas - RS, 1976/77.

DIAS APÓS A EMERGÊNCIA	H E T E R O S E											
	Altura de planta (cm)				Número de folhas por planta				Índice de área foliar			
	MP	(%)	PS	(%)	MP	(%)	PS	(%)	MP	(%)	PS	(%)
14	0,91	18,80	0,35	6,48	0,21	3,29	0,12	1,85	0,06	66,77	0,05	50,00
28	3,00	21,43	0,35	2,10	0,52	5,80	0,40	4,36	0,15	34,09	0,04	7,27
42	4,72	19,09	3,50	13,47	0,56	6,03	0,55	5,91	0,66*	21,35	0,54	16,67
56	5,24	13,46	2,70	6,51	1,06**	9,71	0,63	5,53	0,91**	17,45	0,52	9,34
70	24,40**	23,47	23,43**	22,32	0,48	4,29	0,08	0,69	0,15	2,52	-0,42	-6,43
84	15,18**	13,57	8,45**	7,13	0,50	4,72	0,10	0,91	-0,12	-2,17	-0,44	-7,25
98	23,02**	20,25	18,93**	16,08	0,48	4,26	0,15	1,31	0,26	4,92	-0,38	-6,42
112	20,78	18,10	15,38**	12,80	0,54	4,88	0,35	3,14	0,32	6,75	-0,15	-2,88

*; ** - Estimativas da heterose significativas os níveis de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

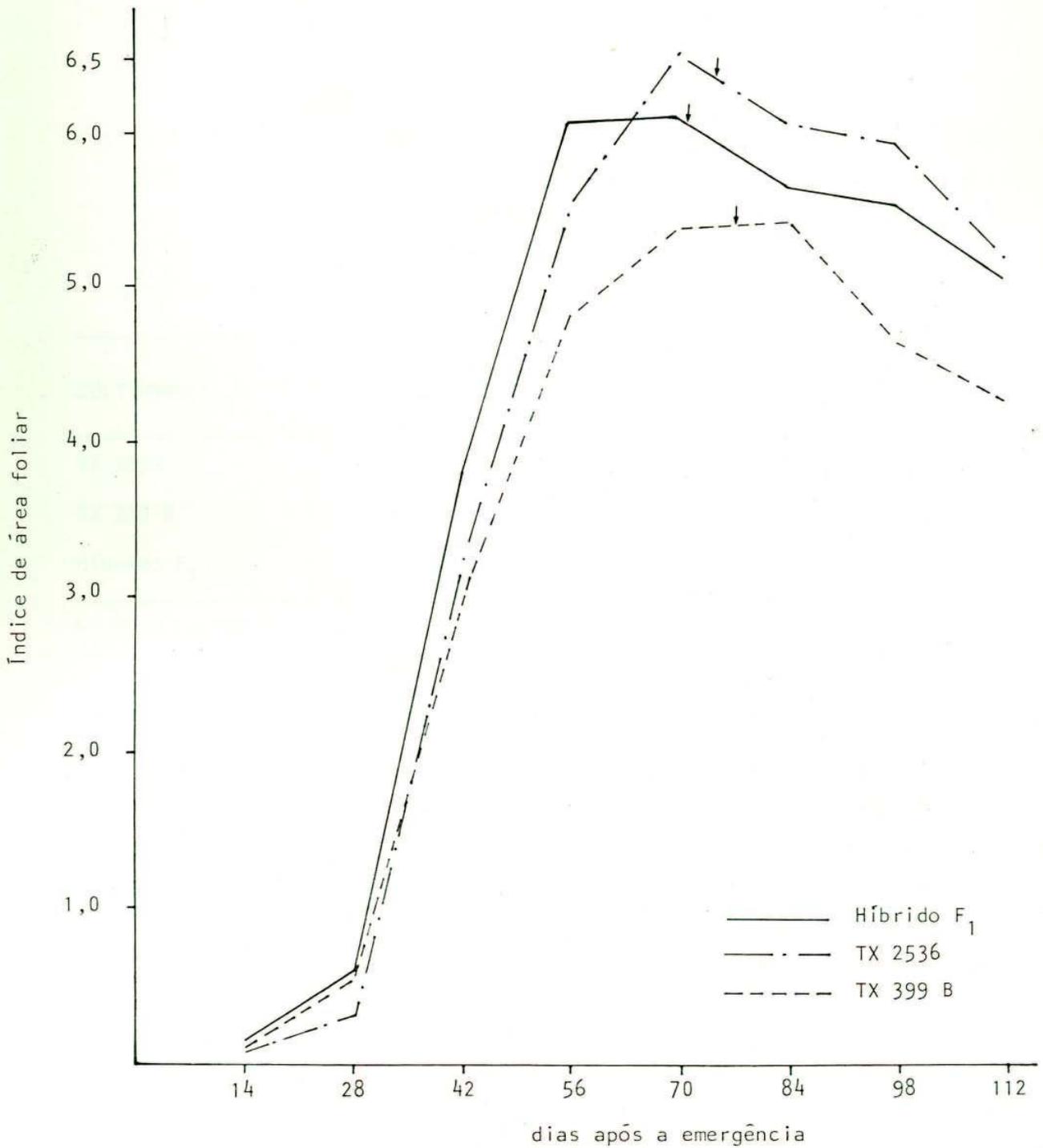


Fig. 5 - Variação no índice de área foliar (L) de duas linhagens de sorgo e de híbrido F₁, em função dos dias após a emergência. Pelotas (RS), 1976/77 - (As setas indicam a época de florescimento).

Figuras 6, 7, 8, 9 e 10 estão representadas as variações na matéria seca de raízes (W_r), colmos (W_c), folhas (W_f), panículas (W_p), e na matéria seca total (W_t), respectivamente, em função dos dias após a emergência.

TABELA V

Estimativas da heterose, em relação à média das linhagens progenitoras (MP) e ao progenitor superior (PS), no período para o florescimento, em dias para 50% de antese, do híbrido F_1 de duas linhagens de sorgo.

Pelotas - RS, 1976/77

CULTIVARES	PERÍODO PARA O FLORESCIMENTO (dias)	H E T E R O S E			
		MP	(%)	PS	(%)
TX 2536	75,0 ^{1/} _b				
TX 399 B	77,0 _b				
Híbrido F_1	71,0 _a	-5,00**	-6,58	-4,00*	-5,33

*; ** - Estimativas da heterose significativas aos níveis de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

^{1/} Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A tendência da produção de matéria seca de raízes dos pais e do híbrido F_1 foi de aumentar até os 84 dias após a emergência, quando atingiu os valores máximos (Fig. 6). O híbrido F_1 apresentou valores de W_r superiores aos das linhagens progenitoras dos 14 aos 56 dias após a emergência, quando passa a assumir valores intermediários, até os 84 dias após a emergência. A partir desse estágio, o híbrido F_1 exibe valores de W_r , inferiores aos W_r das linhagens progenitoras (Tabela VI). A heterose para essa característica foi positiva em relação à média dos progenitores e ao progenitor superior até os 56 dias após a emergência (Tabela VII). Entretanto, a partir dos 70 dias após a emergência, o teste "t" indicou significância para as estimativas negativas da heterose em relação ao progenitor superior para essa característica.

A matéria seca de colmos (W_c) acumulada pelo híbrido F_1 , foi superior à W_c das linhagens parentais dos 14 aos 70 dias após a emergência, quando atingiu seu valor máximo. Por outro lado, as linhagens progenitoras alcançaram seus valores máximos para W_c aos 84 dias após a emergência (Figura 7; Tabela VI). A partir desse ponto, W_c do híbrido F_1 passou a assumir valores intermediários aos das linhagens progenitoras, até o final do ciclo. O teste "t" indicou significância

para a heterose na produção de matéria seca de colmos em relação à média dos pais (24,04%), e em relação ao progenitor superior (23,30%), aos 70 dias após a emergência (Tabela VII).

A produção de matéria seca de folhas (W_f) do híbrido F_1 foi superior às produções das linhagens progenitoras dos 14 aos 56 dias após a emergência, quando passa a apresentar estimativas intermediárias às de W_f das linhagens (Figura 8). Nota-se que W_f do híbrido aumentou rapidamente até os 56 dias após a emergência, e manteve-se estável até os 70 dias após a emergência. Por outro lado, as linhagens progenitoras apresentaram um comportamento distinto com relação a essa característica, exibindo um acúmulo mais lento de matéria seca nas folhas (Tabela VI). As estimativas da heterose na produção de matéria seca de folhas foram positivas até os 70 dias após a emergência, em relação à média das linhagens progenitoras e até os 56 dias após a emergência para as estimativas obtidas em relação ao progenitor superior. Entretanto, o teste "t" só indicou significância para a heterose, em relação à média dos pais, obtida aos 56 dias após a emergência (Tabela VII).

A superioridade do híbrido F_1 sobre as linhagens parentais, em relação à produção de matéria seca de panículas (W_p), é demonstrada na Figura 9. Observa-se que a diferença verificada aos 70 dias após a emergência tende a se ampliar no decorrer do ciclo vegetativo, aumentando continuamente até a última coleta realizada aos 112 dias após a emergência (Tabela VI). A heterose exibida pelo híbrido F_1 na produção de matéria seca de panículas, variou de 15,65% a 50,01% e de 4,38% a 45,83%, em relação à média das linhagens progenitoras e ao progenitor superior, respectivamente (Tabela VII).

O híbrido F_1 excedeu as linhagens progenitoras na produção de matéria seca total (W_t) durante todo o ciclo vegetativo (Figura 10, Tabela VI). Nota-se porém que até os 84 dias após a emergência a produção de matéria seca total do híbrido F_1 foi ligeiramente superior às produções de seus progenitores. Entretanto, a partir desse estágio, a superioridade do híbrido F_1 torna-se mais pronunciada. As estimativas da heterose em W_t , obtidas a partir da média das linhagens progenitoras, foram significativas a partir dos 56 dias após a emergência. Porém, o teste "t" só indicou significância para as estimativas da heterose, em relação ao progenitor superior, obtidas aos 98 e 112 dias após a emergência (Tabela VII).

Na Figura 11 são apresentados os valores da matéria seca da parte vegetativa ($W_r + W_c + W_f$) das linhagens e do híbrido F_1 . Observa-se que, no híbrido F_1 , ocorreu uma estabilização no acúmulo de matéria seca dos 70 aos 84 dias após a emergência, ao passo que as curvas das linhagens progenitoras continuam a apresentar valores crescentes nesse período.

Os dados de matéria seca de raízes, colmos, folhas e panículas, expressos como porcentagem da matéria seca total em cada coleta, são apresentados na

Tabela VIII. Nota-se que, a partir dos 84 dias após a emergência as contribuições relativas da matéria seca de raízes, colmos e folhas, para a matéria seca total, são maiores nas linhagens progenitoras do que no híbrido F_1 . Por outro lado, nesse período, o híbrido apresenta a matéria seca de panículas como a maior constituinte da matéria seca total.

3.5. Rendimento de grãos, peso de 1000 grãos, número de grãos por panícula e índice de colheita

O rendimento de grãos, o peso de 1000 grãos, o número de grãos por panícula, o índice de colheita (K_r), e as estimativas da heterose para essas características, em relação à média das linhagens progenitoras e ao progenitor superior, são apresentados nas Tabelas IX e X, respectivamente. As estimativas da heterose para rendimento de grãos foram significativas ao nível de 1% de probabilidade. Com relação aos componentes primários do rendimento, o teste "t" indicou significância para a heterose no peso de 1.000 grãos, estimada em relação à média dos pais e ao progenitor superior, e no número de grãos por panícula, estimado em relação à média das linhagens parentais. O teste "t" também indicou significância para as estimativas da heterose em relação à média das linhagens progenitoras e ao progenitor superior, no índice de colheita.

Os resumos das análises da variância dos dados coletados nas oito épocas, para as 13 características estudadas, são apresentados nas Tabelas XI a XIV no Apêndice.

TABELA VI

Produção de matéria seca de raízes (W_r), colmos (W_c), folhas (W_f), panículas (W_p) e de matéria seca total (W_t) de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em oito épocas de coleta. Pelotas - RS, 1976/77

DIA APÓS A EMERGÊNCIA	M A T É R I A S E C A ($g.m^{-2}$)														
	Raízes			Colmos			Folhas			Panículas			Total		
	TX 2536	TX 399 B	Híbr. F_1	TX 2536	TX 399 B	Híbr. F_1	TX 2536	TX 399 B	Híbr. F_1	TX 2536	TX 399 B	Híbr. F_1	TX 2536	TX 399 B	Híbr. F_1
14	1,04 ^{1/}	1,03 a	1,50 a	0,58 a	0,88 a	1,14 a	1,73 a	2,33 a	3,33 a	-	-	-	3,35 a	4,24 a	5,97 a
28	4,74 a	7,99 a	9,07 a	5,78 a	11,43 a	14,71 a	10,46 a	20,44 a	21,86 a	-	-	-	20,98 a	39,86 a	45,64 a
42	58,81 a	51,27 a	76,65 a	58,38 a	57,47 a	74,02 a	101,15 a	99,40 a	127,73 a	-	-	-	218,34 a	208,14 a	278,40 a
56	118,01 a	100,71 a	123,35 a	206,71 a	178,37 a	247,68 a	212,46 ab	183,11 b	232,41 a	-	-	-	537,18 ab	462,19 b	603,44 a
70	164,14 a	136,16 b	137,45 b	399,54 b	388,38 b	488,65 a	249,33 a	205,61 a	232,99 a	156,16 a	125,72 a	163,80 a	969,17 ab	855,87 b	1022,89 a
84	208,47 a	166,60 b	166,80 b	491,79 a	422,01 a	480,97 a	231,42 a	207,43 a	214,88 a	399,57 b	329,52 b	497,79 a	1331,25 a	1125,56 b	1360,44 a
98	182,58 a	160,04 ab	135,98 b	464,98 a	376,75 a	407,45 a	226,03 a	176,81 a	211,55 a	568,81 b	537,10 b	829,50 a	1442,40 b	1250,70 c	1584,48 a
112	163,90 a	130,12 b	125,67 b	391,23 a	353,20 a	388,09 a	198,66 a	162,86 a	193,03 a	719,20 b	652,31 b	970,50 a	1472,99 b	1298,49 c	1677,29 a

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

TABELA VII

Estimativas da heterose, em relação à média das linhagens progenitoras (MP) e ao progenitor superior (PS), na produção de matéria seca de raízes (Wr), colmos (Wc), folhas (Wf), panículas (Wp) e na produção de matéria seca total (Wt) do híbrido F₁ de duas linhagens de sorgo, em oito épocas de coleta. Pelotas, RS, 1976/1977

DIAS APÓS A EMERGÊNCIA	HETEROSE NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA (g.m ⁻²)																			
	Raízes				Colmos				Folhas				Panículas				Total			
	MP	(%)	PS	(%)	MP	(%)	PS	(%)	MP	(%)	PS	(%)	MP	(%)	PS	(%)	MP	(%)	PS	(%)
14	0,46	44,93	0,46	44,23	0,41	56,16	0,26	29,55	1,30	64,04	1,00	42,92					2,18	57,31	1,73	40,80
28	2,71	42,50	1,08	13,52	6,11	70,95	3,28	28,70	6,41	41,49	1,42	6,95					15,22	50,03	5,78	14,50
42	21,61	39,26	17,84	30,33	16,10	27,79	15,64	26,79	27,46	27,38	26,58	26,28					65,16	30,53	60,06	27,51
56	13,99	12,79	5,34	4,53	55,14	28,64	40,97	19,82	35,12	17,80	19,95	9,39					103,76*	20,76	66,26	12,33
70	-12,70	-8,46	-26,99*	-16,26	94,69**	24,04	89,11*	22,30	5,52	2,43	-16,34	-6,55	22,06	15,65	6,84	4,38	110,37*	12,10	53,72	5,54
84	-20,74	-11,06	-41,67**	-19,99	24,07	5,27	-10,82	-2,20	4,54	-2,07	-16,54	-7,15	133,24**	36,55	98,22*	24,58	266,88**	24,40	29,19	2,19
98	-35,33**	-20,62	-46,60**	-25,52	-13,42	-3,19	-57,53	-12,37	10,13	5,03	-14,48	-6,41	276,54**	50,01	260,69**	45,83	237,93**	17,67	142,08*	9,85
112	-21,34	-14,52	-38,23**	-23,33	15,88	4,27	-3,14	-0,80	12,27	6,79	-5,63	-2,83	284,74**	41,52	251,30**	34,94	291,55**	21,04	204,30**	13,87

*,** - Estimativas da heterose significativas aos níveis de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

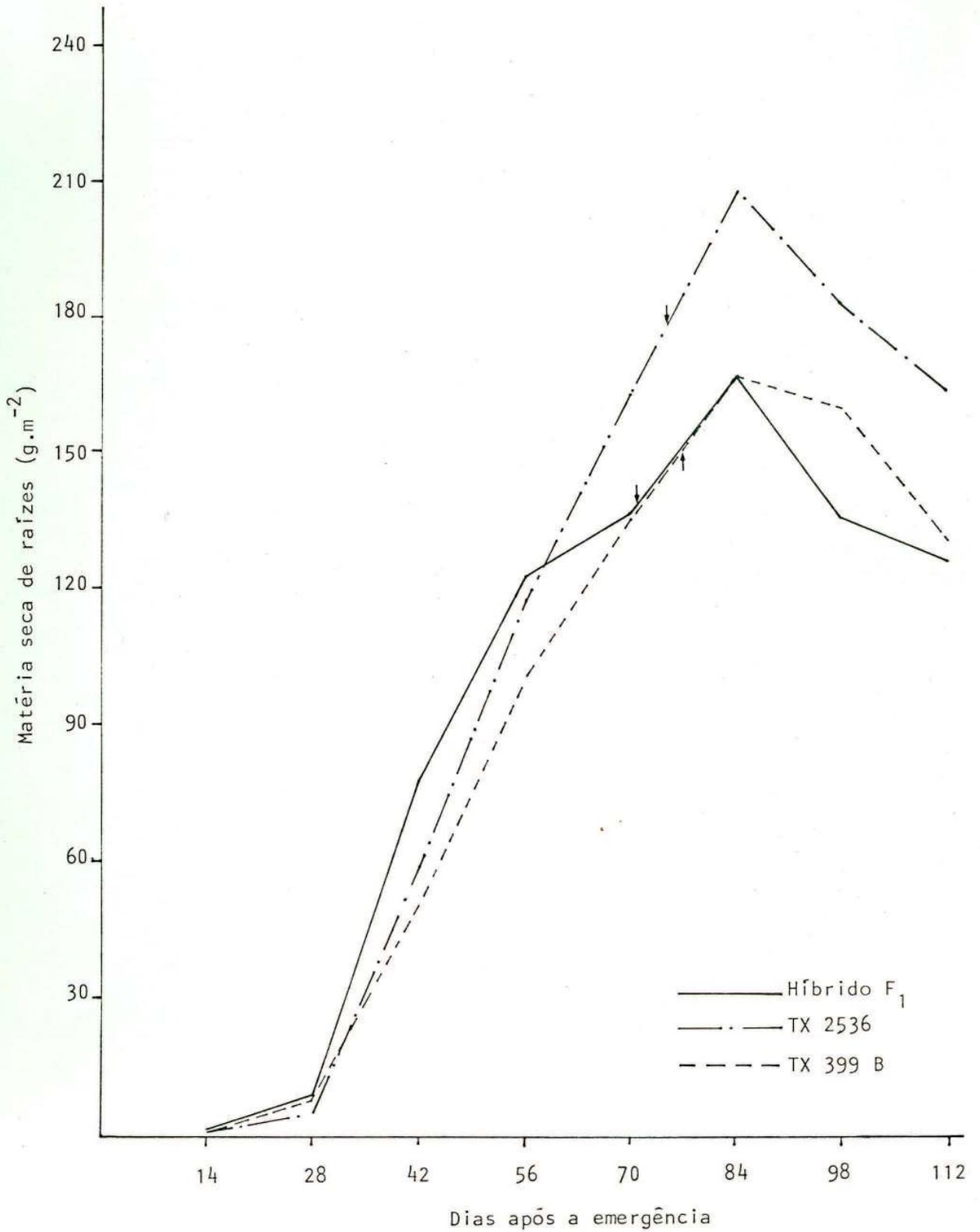


Fig. 6 - Variação na matéria seca de raízes (W_r) de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em função dos dias após a emergência. Pelotas, (RS), 1976/77 - (As setas indicam a época de florescimento).

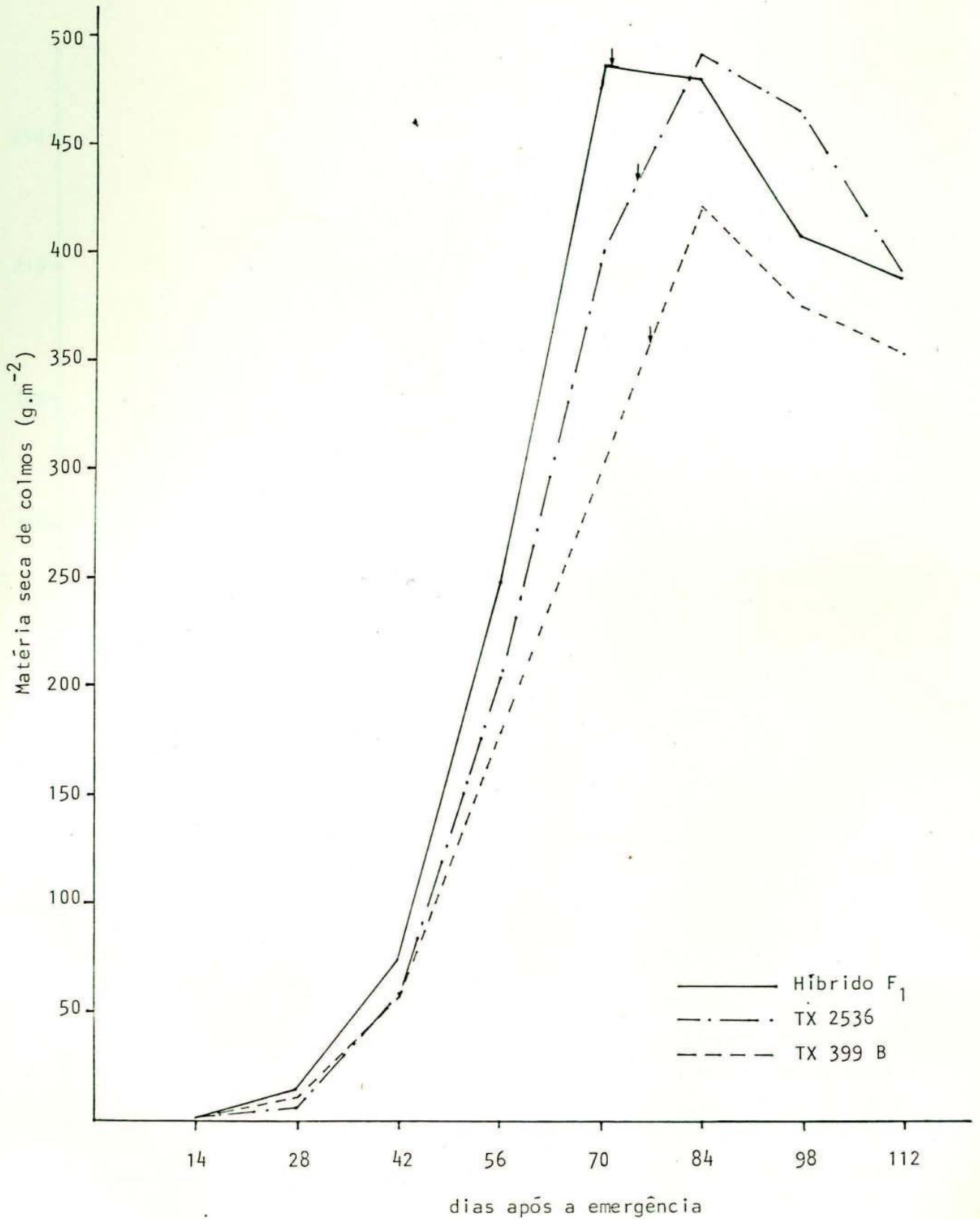


Fig. 7 - Variação na matéria seca de colmos (W_c) de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em função dos dias após a emergência. Pelotas (RS), 1976/77 - (As setas indicam a época de florescimento).

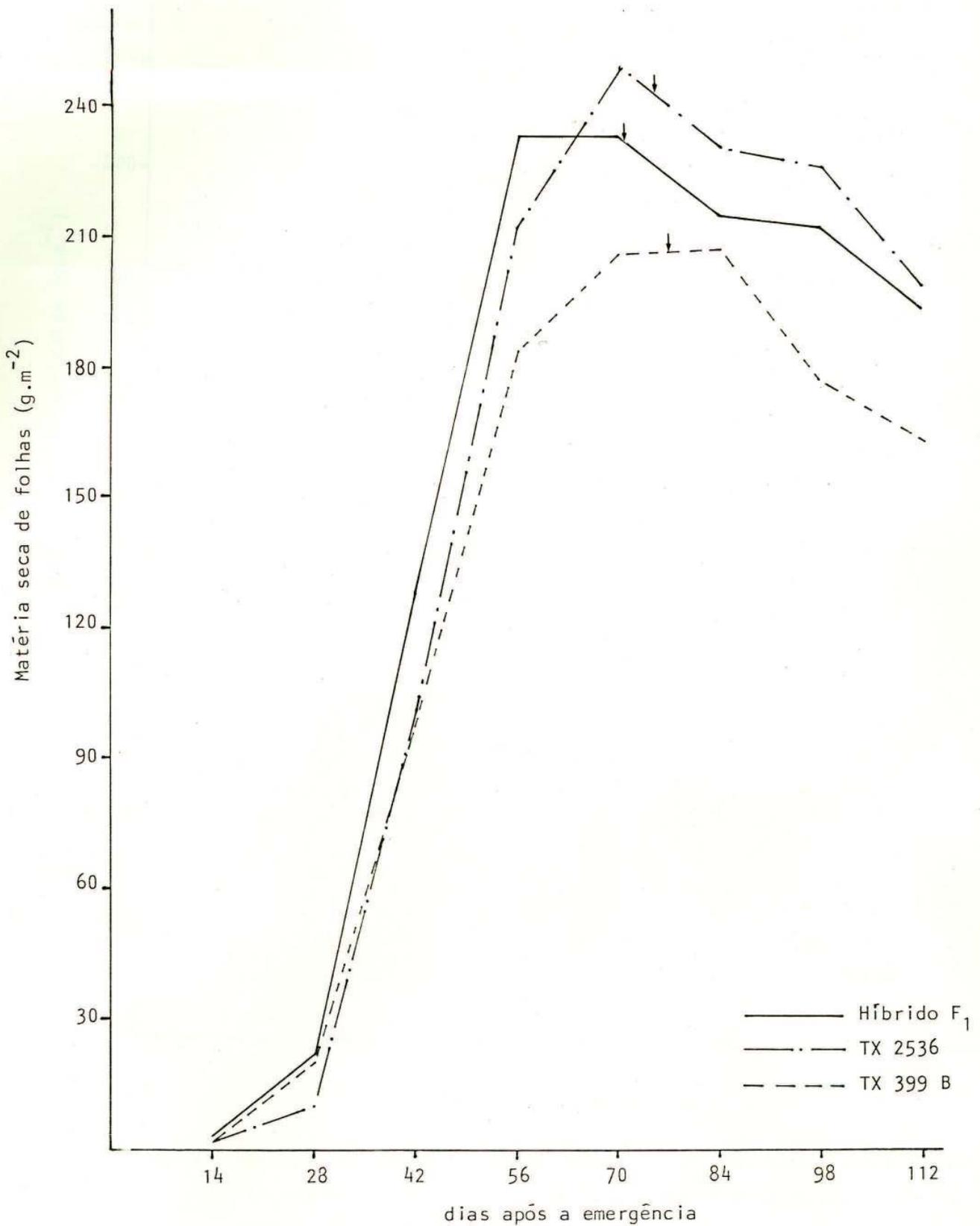


Fig. 8 - Variação na matéria seca de folhas (W_f) de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em função dos dias após a emergência. Pelotas (RS), 1976/77 - (As setas indicam a época de florescimento).

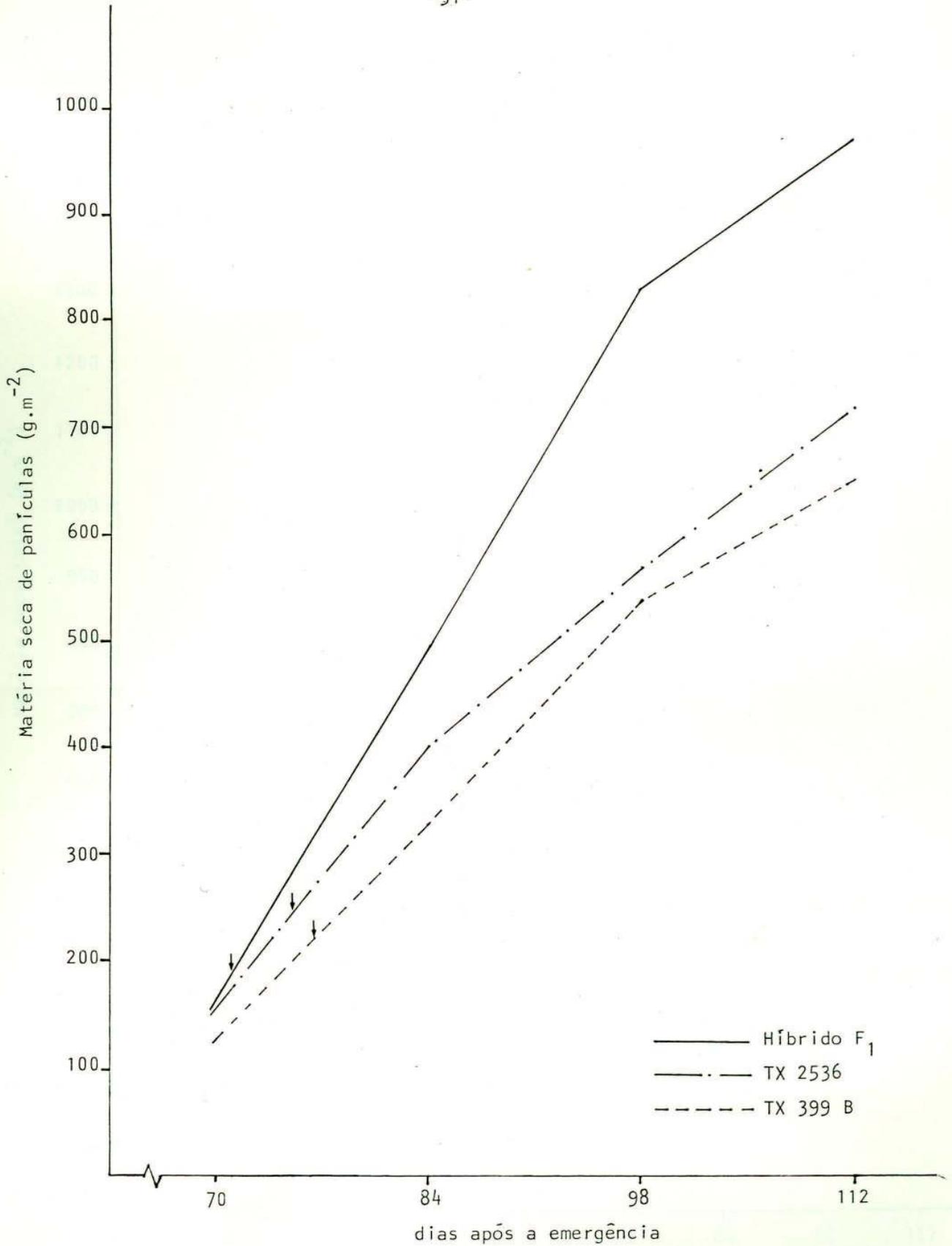


Fig. 9 - Variação na matéria seca de panículas (W_p) de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em função dos dias após a emergência. Pelotas (RS), 1976/77 - (As setas indicam a época de florescimento).

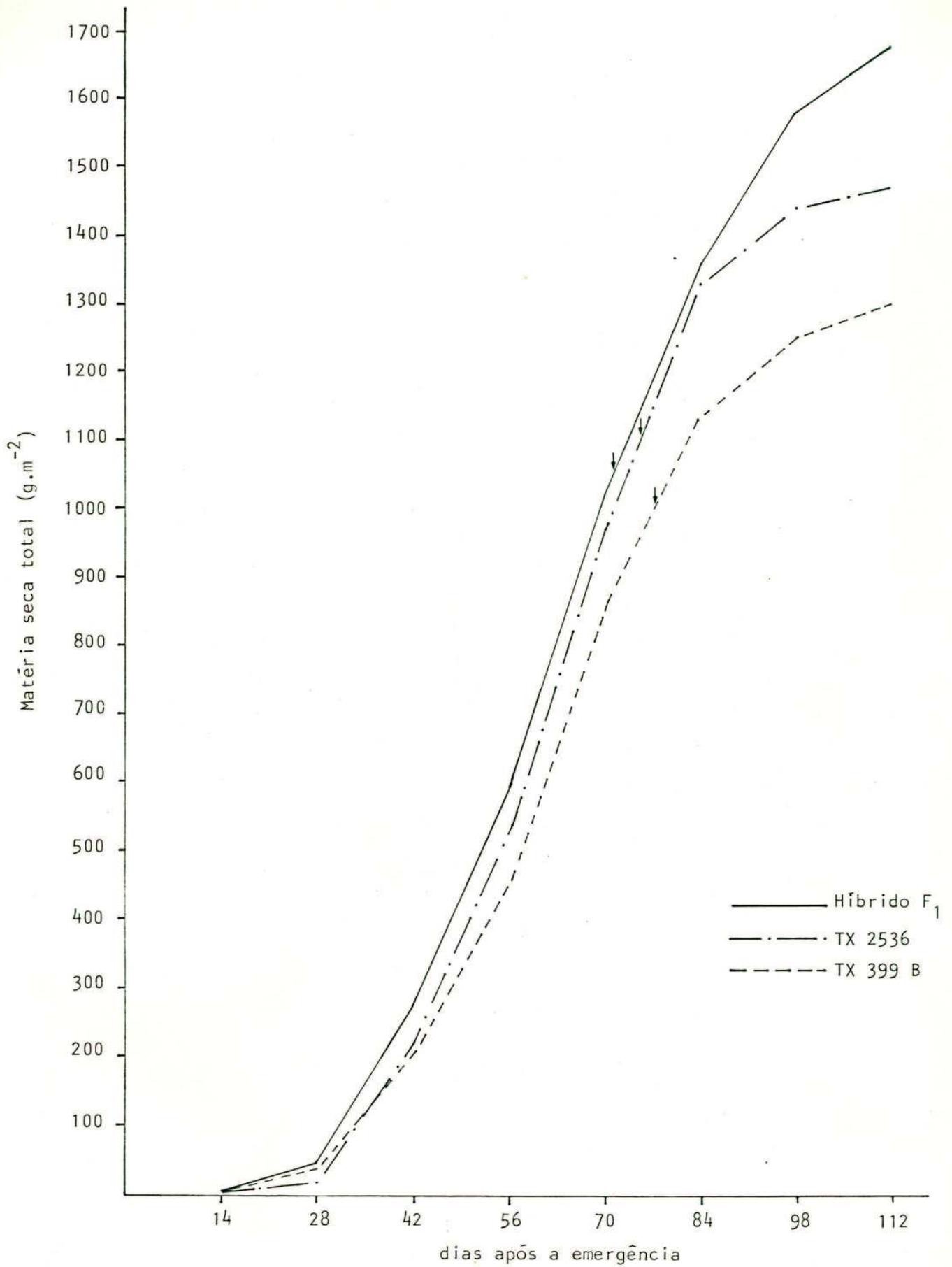


Fig. 10 - Variação na matéria seca total (W_t) de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em função dos dias após a emergência. Pelotas (RS), 1976/77 - (As setas indica- a época de florescimento).

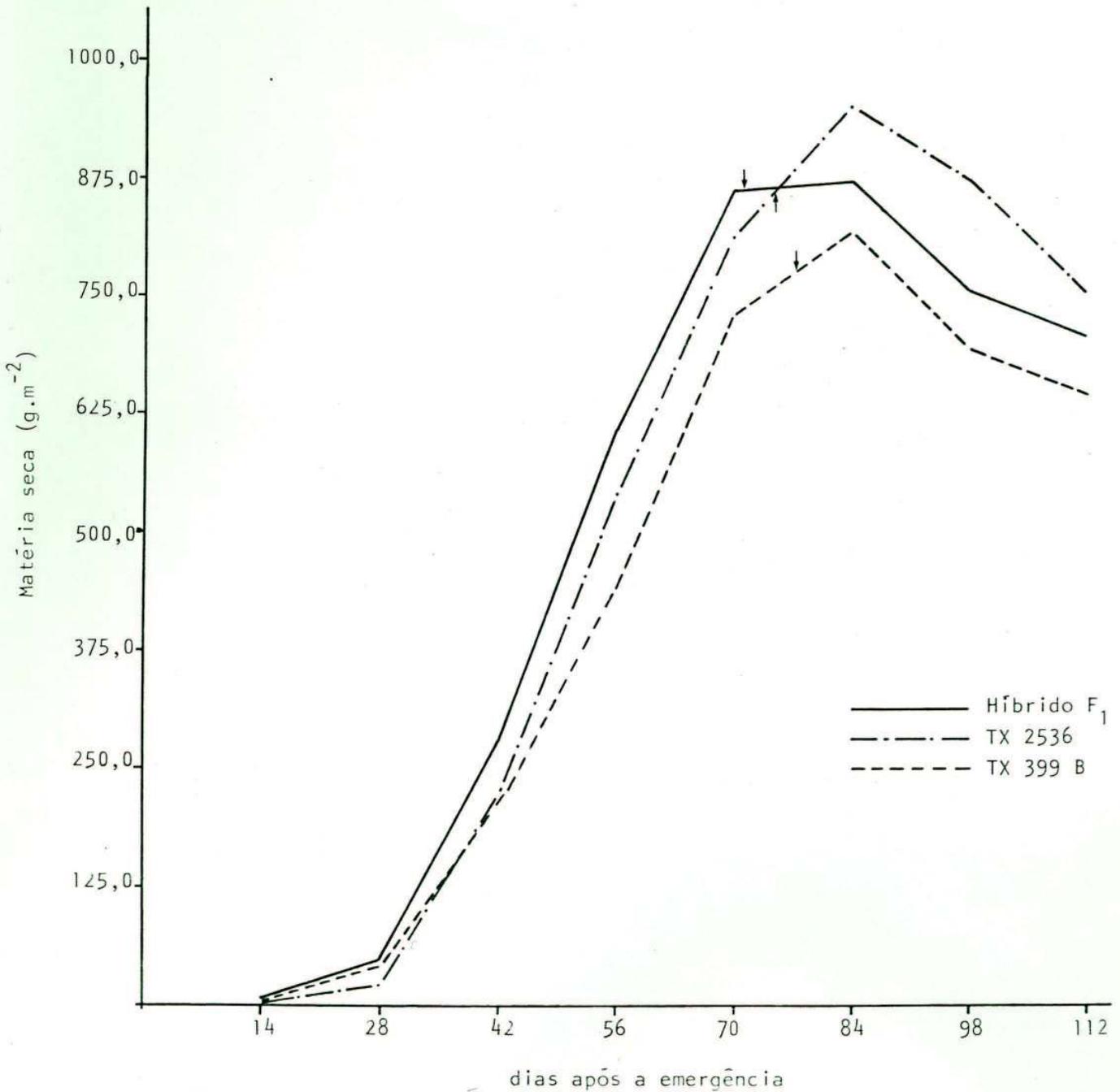


FIG. 11. Variação na matéria seca da parte vegetativa ($W_r+W_c+W_f$) de duas linhas de sorgo e de seu híbrido F₁, em função dos dias após a emergência. Pelotas (RS), 1976/77. (As setas indicam a época de florescimento).

TABELA VIII

Porcentagens de matéria seca de raízes (W_p), colmos (W_c), folhas (W_f) e panículas (W_p), em relação à matéria seca total (W_t), de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 em oito épocas de coleta. Pelotas - RS, 1976/77

DIAS APÓS A EMERGÊNCIA	PORCENTAGENS DE MATÉRIA SECA DE											
	Raízes			Colmos			Folhas			Panículas		
	TX 2536	TX 399 B	Híbr. F_1	TX 2536	TX 399 B	Híbr. F_1	TX 2536	TX 399 B	Híbr. F_1	TX 2536	TX 399 B	Híbr. F_1
14	31,04	24,29	25,13	17,31	20,76	19,10	51,65	54,95	55,77	-	-	-
28	22,59	20,05	19,87	27,55	28,68	32,23	49,86	51,27	47,90	-	-	-
42	26,94	24,63	27,53	26,74	27,61	26,59	46,32	47,76	45,88	-	-	-
56	21,97	21,79	20,44	38,48	38,59	41,04	39,55	39,62	38,52	-	-	-
70	16,94	15,91	13,44	41,22	45,38	47,77	25,73	24,02	22,78	16,11	14,69	16,01
84	15,66	14,80	12,17	36,94	37,49	35,35	17,38	18,43	15,89	30,02	29,28	36,59
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	26,56	27,20	23,14	13,49	12,54	11,51	48,82	50,24	57,86

TABELA IX

Rendimento de grãos, peso de 1.000 grãos, número de grãos por panícula e índice de colheita (K_r) de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 aos 112 dias após a emergência. Pelotas - RS, 1976/77

RENDIMENTO DE GRÃOS (kg/ha)			PESO DE 1000 GRÃOS (g)			NÚMERO DE GRÃOS POR PANÍCULA			ÍNDICE DE COLHEITA (K_r)		
TX	TX	Híbr.	TX	TX	Híbr.	TX	TX	Híbr.	TX	TX	Híbr.
2536	399B	F_1	2536	399B	F_1	2536	399B	F_1	2536	399B	F_1
3772 _b	3766 _b	6060 _a ^{1/}	25,8 _b	25,1 _b	29,1 _a	1280 _a	1063 _b	1459 _a	0,290 _b	0,331 _b	0,396 _a

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

TABELA X

Estimativas da heterose, em relação à média das linhagens parentais (MP) e ao progenitor superior (PS), no rendimento de grãos, peso de 1000 grãos, número de grãos por panícula e no índice de colheita (K_r) do híbrido F_1 de duas linhagens de sorgo aos 112 dias após a emergência. Pelotas - RS, 1976/77

H E T E R O S E															
Rendimento de grãos (kg/ha)				Peso de 1000 grãos (g)				Número de grãos por panícula				Índice de colheita (K_r) (%)			
MP	(%)	PS	(%)	MP	(%)	PS	(%)	MP	(%)	PS	(%)	MP	(%)	PS	(%)
2291**	60,79	2288**	60,66	3,6	14,34**	3,3	12,79**	288*	24,54	179	13,98	0,085**	27,54	0,065*	19,64

*,** - Estimativas da heterose significativas aos níveis de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

4. DISCUSSÃO

4.1. Heterose na altura de planta, no número de folhas por planta, no índice de área foliar e no período para o florescimento

O híbrido de sorgo utilizado neste estudo demonstrou superioridade em relação às linhagens parentais quanto à altura de planta, durante todos os estágios de desenvolvimento. A habilidade do híbrido em alcançar maiores alturas de planta do que as linhagens parentais, durante o mesmo período, sugere que o híbrido apresentou maiores taxas de crescimento. Esse fato, segundo KAMBAL & WEBSTER (26) 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, pendúnculos e panículas mais longos. Essa associação positiva entre altura de planta e comprimento de panícula, auxilia na explicação das altas correlações encontradas por MAUNDER & WEDDIGE, citados por MAUNDER (38), e por MARTIN (36), entre altura de planta e rendimento de grãos.

O comprimento do colmo de uma planta é função do número de nós e do comprimento médio do entre-nó. KAMBAL & WEBSTER (26) concluíram que a heterose na altura de planta, em sorgo, manifesta-se mais através de acréscimos no comprimento médio dos entre-nós do híbrido, do que através de aumentos no número de nós. Ainda que os resultados obtidos no presente trabalho não permitam a confirmação direta dessa hipótese, eles possibilitam que a mesma seja confirmada indiretamente utilizando-se os dados relativos ao número de folhas por planta. Pela análise das Tabelas III e IV, observa-se que apesar do híbrido ter sido ligeiramente superior às linhagens parentais quanto ao número de folhas por planta, essa diferença somente foi significativa, em relação à média dos pais, aos 56 dias após a emergência. Desde que, segundo KAMBAL & WEBSTER (26), em sorgo apenas uma folha é produzida em cada nó, o número de folhas pode ser considerado igual ao número de nós, e, conseqüentemente, no híbrido estudado a heterose na altura de planta provavelmente pode ser atribuída a acréscimos no comprimento médio do entre-nó.

Conforme QUINBY (50) as folhas dos híbridos de sorgo são maiores do que as folhas de suas linhagens parentais, até que a maior folha alcance sua expansão máxima. A partir desse ponto, as folhas dos híbridos são frequentemente menores do que as

folhas das linhagens, podendo determinar menores índices de área foliar. Os resultados obtidos neste trabalho, referentes aos índices de área foliar (L) do híbrido e de suas linhagens, concordam com aquele autor, uma vez que as estimativas obtidas para o L do híbrido foram superiores às do L das linhagens progenitoras até os 56 dias após a emergência, passando depois a assumir posições intermediárias entre seus progenitores até os 112 dias após a emergência (Tabelas III e IV). Nota-se, portanto, 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 atinge valores semelhantes aos do híbrido (Tabela III). Tais resultados concordam com as conclusões de QUINBY (50) e SINHA & KHANNA (60).

Conforme QUINBY (51), a explicação para este fato pode ser encontrada no trabalho de BORRIL sobre a ontogênese de várias espécies pertencentes à família das Gramíneas, segundo o qual, 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 sendo, aparentemente este efeito inibidor não só é maior no híbrido, em decorrência do maior tamanho de sua panícula, como também ocorre mais cedo, uma vez que o índice de área foliar do híbrido alcançou com valor bastante próximo ao seu valor máximo, mais rapidamente de que suas linhagens (Tabela III; Figura 5).

Porém, apesar da área foliar ser reconhecida como um fator de grande importância no acúmulo de matéria seca e no rendimento dos grãos (MILTHORPE, 39; YOSHIDA, 69; WATSON, 72, 73), QUINBY (50, 51) concluiu que, aparentemente, as áreas foliares de linhagens e híbridos de sorgo são adequadas, uma vez que a planta de sorgo possui outras áreas potencialmente fotossintéticas além das folhas, como as bainhas foliares, e não utiliza tais áreas no processo fotossintético (STICKLER & PAULI, 64). Assim sendo, segundo esses autores, diferenças entre as áreas foliares das linhagens e dos híbridos de sorgo, não podem ser consideradas como um dos fatores de maior importância na explicação da maior produtividade de grãos dos híbridos de sorgo.

A heterose negativa que se verificou no período para o florescimento do híbrido, e que se traduziu numa precocidade de 5 e 4 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, 48, 49, 51; QUINBY et alii, 53; KIRBY & ATKINS, 28; LIANG et alii, 31; PATANOTHAI & ATKINS, 44), e segundo QUINBY (51) a precocidade do híbrido pode ser atribuída ao rápido desenvolvimento de seu meristema apical durante o período que precede a diferenciação floral, e, posteriormente, ao desenvolvimento mais rápido da panícula.

4.2. Heterose na produção de matéria seca

Os resultados obtidos com relação à heterose na produção de matéria seca de raízes, indicam que o híbrido apresentou um desenvolvimento mais rápido do sistema radicular, em relação a suas linhagens progenitoras. Esta superioridade, ainda que não seja estatisticamente significativa, é evidente até os 56 dias após a emergência, ou seja, até o período que precede a emissão da panícula. Nota-se que nesse ponto ocorre uma mudança na curva de W_r do híbrido, indicando que o híbrido passa a acumular matéria seca em outras partes da planta, como o colmo e a panícula, que aparentemente tornam-se os sítios preferenciais de acúmulo (Tabela VIII). Tais resultados concordam com os dados de STOY, citado por SINHA & KHANNA (60), e parecem confirmar a teoria daquele autor, de que as raízes atuam como um depósito metabólico alternativo, que armazena os produtos da fotossíntese até que os depósitos definitivos sejam desenvolvidos. Desse modo, o rápido desenvolvimento inicial do sistema radicular do híbrido, estaria associado ao desenvolvimento da parte aérea da planta durante os estádios iniciais de desenvolvimento.

Porém, nota-se que o híbrido, após os 56 dias após a emergência, apresenta valores de W_r bastante semelhantes aos exibidos pelo progenitor inferior, concordando com os resultados obtidos por BLUM et alii (8). Segundo estes autores, a heterose no sistema radicular de híbridos de sorgo manifesta-se mais através de acréscimos em atributos como comprimento da raiz seminal, número e comprimento das raízes adventícias e volume do sistema radicular, do que no aumento da matéria seca das raízes.

As diferenças entre os valores de W_c das linhagens e do híbrido foram relativamente pequenas. Nota-se que o híbrido atingiu o máximo valor de W_c aos 70 dias após a emergência ao passo que W_c máximo das linhagens foi alcançado aos 84 dias após a emergência (Fig. 7; Tabela VI), indicando que após o florescimento, o híbrido passa a acumular matéria seca preferencialmente na panícula. Por outro lado, as linhagens mantêm o acúmulo de matéria seca no colmo, mesmo após o florescimento. Deve-se realçar que a queda nos valores de W_c é mais acentuada no híbrido do que nas linhagens progenitoras, indicando a ocorrência de maior translocação dos produtos assimilados para a panícula do híbrido (BABU & REDDY, 4; BROWER, 12; GIBSON & SCHERTZ, 24).

Com relação à heterose na matéria seca de folhas (W_f), nota-se que o híbrido apresentou o mesmo padrão observado com relação a W_r e W_c , mantendo uma certa superioridade até o período que precede o florescimento (Fig. 8; Tabela VII). Nota-se também, que W_f do híbrido mantém-se praticamente estabilizada dos 56 aos 70 dias após a emergência, indicando que a heterose foi efetiva na produção e manutenção de tecido assimilador, o que, segundo VAN DOBBEN (67), pode ser um dos principais determinantes do desenvolvimento mais rápido do híbrido.

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. 9; Tabela VII), indicando que as panículas dos híbridos são maiores ainda que se desenvolvam num menor período de tempo (GIBSON & SCHERTZ, 24; QUINBY, 48, 50, 51). Nota-se que, após a emissão das panículas inicia-se o acúmulo de matéria seca nestes órgãos, em detrimento dos demais constituintes das plantas (Tabela VI). 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 essa característica. Assim sendo, evidencia-se como um dos determinantes da heterose, a maior capacidade do híbrido em translocar e acumular matéria seca na panícula (ALLISON, 3; BABU & REDDY, 4; GIBSON & SCHERTZ, 24; PATANOTHAI & ATKINS, 44; RAO & VENKATESWARLU, 56; SINHA & KHANNA, 60).

O híbrido de sorgo utilizado neste estudo excedeu suas linhagens progenitoras na produção de matéria seca total, dos 14 aos 112 dias após a emergência (Fig. 10; Tabela VII). 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, que é considerado o "período de grande crescimento" (VANDERLIP, 66), refletem o rápido desenvolvimento morfológico do híbrido em relação a seus progenitores, e pode ser atribuído à heterose (GIBSON & SCHERTZ, 24; PATANOTHAI & ATKINS, 44).

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 contribuiu para minimizar as estimativas da heterose nesse período. Entretanto, verifica-se que este acréscimo em W_t da linhagem, foi decorrente do acúmulo de matéria seca na parte vegetativa (Fig. 11), principalmente nos colmos e nas raízes, e que posteriormente não foi translocada para a panícula. A análise da Fig. 11 revela, por outro lado, que 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 de acúmulo dos produtos da fotossíntese. Tais resultados são semelhantes aos obtidos por vários autores (GIBSON & SCHERTZ, 24; PATANOTHAI & ATKINS, 44; RAO & VENKATESWARLU, 56).

A magnificação das diferenças entre as curvas de W_t do híbrido e das linhagens, a partir dos 84 dias após a emergência, pode ser atribuída ao maior desenvolvimento da panícula e à maior capacidade do híbrido em translocar e acumular matéria seca neste órgão. Segundo FISHER & WILSON (22, 23), cerca de 12% da matéria seca acumulada pela planta de sorgo antes da antese, é translocada para os grãos. Aparentemente, no híbrido a translocação é maior e mais eficiente do que nas linhagens, concordando com os resultados de ARNON & BLUM, citados por GIBSON & SCHERTZ (24).

Também fica evidente, a importância da relação "source x sink" na obtenção dos maiores níveis de produção pelo híbrido, ou seja, a existência de um balanceamento entre a "fonte", ou o suprimento de produtos da fotossíntese, e o "destino", ou o potencial de grãos, permite que o híbrido alcance maior produção de

grãos do que suas linhagens. Assim, nota-se que as linhagens TX 2536 e TX 399 B, apesar de apresentarem produções de matéria seca total da ordem de 88% e 77% de W_t do híbrido, respectivamente, tiveram suas produções de panículas limitadas a 74% e 67%, respectivamente, do rendimento de W_p do híbrido F_1 . Estes resultados são semelhantes aos obtidos por ALLISON (3), RAO & MURTY (55), RAO & VENKATESWARLU (56) e SINHA & KHANNA (60).

Nota-se também, que a linhagem TX 2536 apresentou um desenvolvimento inicial mais lento, mas que entre os 28 e os 42 dias após a emergência, modifica seu padrão de crescimento e supera a outra linhagem parental. Segundo MILLER^{1/}, este desenvolvimento inicial lento é uma característica desta linhagem.

Observando-se as contribuições porcentuais das partes das plantas para a produção de matéria seca total (Tabela VIII), em função dos dias após a emergência, nota-se que ocorreu uma variação sequencial no acúmulo de matéria seca nos depósitos metabólicos constituídos pelas raízes, folhas, colmos e panículas. No início do ciclo vegetativo, as raízes e as folhas constituem os depósitos preferenciais de acúmulo de matéria seca. Posteriormente os colmos passam a se constituir no órgão preferencial para o acúmulo dos produtos da fotossíntese, até que, com a emergência das panículas, ocorre nova modificação no padrão de acúmulo de matéria seca, tornando-se o depósito metabólico definitivo. Esta variação sequencial define, segundo BROWER (12), uma relação de interdependência entre os órgãos da planta.

Nota-se que aos 112 dias após a emergência, as linhagens caracterizam-se por apresentarem pesos relativos de raízes, colmos e folhas, substancialmente superiores aos do híbrido F_1 , o qual, por outro lado, apresenta o mais elevado porcentual de matéria seca de panículas. Estes dados confirmam a maior capacidade do híbrido em acumular matéria seca em sua estrutura reprodutiva.

4.3. Heterose nos componentes primários do rendimento e no índice de colheita

Uma das manifestações da heterose, universalmente reconhecida, consiste na obtenção de maiores rendimentos de grãos pelos híbridos F_1 , que chegam a superar suas linhagens progenitoras por significativas margens. Os resultados obtidos no presente estudo, onde a heterose no rendimento de grãos foi de aproximadamente 60%, tanto em relação ao progenitor superior para esta característica, quanto à média das linhagens parentais (Tabela X), concordam com os níveis de heterose relatados por vários autores (BEIL & ATKINS, 6; CHIANG & SMITH, 14; KAMBAL & WEBSTER, 26; KIRBY & ATKINS, 28; NAGUR & MURTY, 42; PATANOTHAI & ATKINS, 44; QUINBY, 48, 50, 51).

^{1/}MILLER, F.R. Comunicação pessoal

Os principais componentes que normalmente são considerados nas análises do rendimento de grãos em sorgo, são o peso de 1000 grãos e o número de grãos por panícula (ABIFARIN & PICKETT, 1; BLUM, 7; KAMBAL & WEBSTER, 26; LIANG et alii, 31; PATANOTHAI & ATKINS, 44; QUINBY, 48, 51; RAO & MURTY, 55).

Com relação ao peso de 1000 grãos, nota-se que o híbrido excedeu significativamente suas linhagens progenitoras, indicando que a heterose foi efetiva na produção de grãos mais pesados (Tabelas IX, X). Entretanto, se vários autores obtiveram resultados semelhantes (ABIFARIN & PICKETT, 1; KAMBAL & WEBSTER, 26; NIEHAUS & PICKETT, 43), outras pesquisas indicaram que o peso de 1000 grãos das linhagens parentais e de seus híbridos não diferiram significativamente (BEIL & ATKINS, 6; KIRBY & ATKINS, 28). Por outro lado, os dados apresentados por QUINBY (48), demonstram a ocorrência de certa variação com relação a esta característica entre os híbridos e progenitores estudados.

A análise dos dados referentes ao número de grãos por panícula (Tabelas IX, X), revela que o híbrido foi superior à média dos progenitores, não diferindo porém do progenitor superior. O número de grãos por panícula tem sido considerado por alguns autores, como o fator que mais tem contribuído para a heterose na produção de grãos (BEIL & ATKINS, 6; BLUM, 7; KAMBAL & WEBSTER, 26). Entretanto, outros pesquisadores tem demonstrado que frequentemente o híbrido não difere das linhagens parentais com relação a esta característica, assumindo muitas vezes uma posição intermediária entre seus progenitores (BLUM, 7; GIBSON & SCHERTZ, 24; KIRBY & ATKINS, 28; PATANOTHAI & ATKINS, 44).

Os resultados obtidos no presente estudo com relação aos componentes do rendimento de grãos, indicam que tanto o peso de 1000 grãos como o número de grãos por panícula contribuíram para a maior produção do híbrido, e concordam com os resultados de GIBSON & SCHERTZ (24) e KAMBAL & WEBSTER (26). Deve-se realçar que o peso de 1000 grãos apresentou uma contribuição mais efetiva para a heterose na produção de grãos do híbrido estudado.

Quanto ao Índice de colheita (K_r), observa-se que a superioridade do híbrido fica evidenciada pela magnitude das estimativas obtidas para a heterose, que foram de 27,54% e 19,64%, em relação à média dos pais e ao progenitor superior, respectivamente. Segundo YOSHIDA (69), o Índice de colheita é um importante auxiliar na compreensão dos processos envolvidos na produção de grãos, tais como o crescimento vegetativo, a formação dos órgãos de armazenamento e o enchimento de grãos. Este Índice e a produção biológica tem sido propostos por vários autores com instrumentos úteis no melhoramento genético de cereais (DONALD, 18, 20; SINGH & STOSKOPF, 61). WALLACE et alii (70) consideram que 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 os componentes primários do rendimento, ou seja, o peso de 1000 grãos e o número de grãos por panícula, com o índice de colheita (Tabelas IX, X) pode-se verificar que o híbrido apresentou um 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 399 B, e maior conversão de matéria seca em grãos do que as linhagens parentais. Desde que a linhagem TX 2536 apresentou o mesmo número de grãos do que o híbrido, a limitação na sua produção de grãos parece ser sua baixa capacidade de translocação da matéria seca produzida para a panícula. Outro fator que pode ter prejudicado o rendimento de grãos desta linhagem, foi a manutenção de índices de área foliar elevados após o florescimento, o que, segundo FISCHER & WILSON, citados por DONALD & HAMBLIN (19), afeta negativamente o índice de colheita. Por outro lado, a linhagem TX 399 B, apesar de apresentar um índice de colheita ligeiramente superior ao da linhagem polinizadora, apresentou limitações em sua capacidade de depósito, refletida por seu menor número de grãos por panícula e por sua baixa eficiência de translocação. Estes resultados concordam com os dados de GIBSON & SCHERTZ (24) e de LOOMIS & WILLIAMS (33).

4.4. Discussão geral

A ocorrência de heterose nos estádios iniciais de crescimento tem sido reportada por vários autores (ALLISON, 3; BLUM, 8; GIBSON & SCHERTZ, 24; PINTHUS & ROSENBLUM, 47; SINHA KHANNA, 60; SPRAGUE, 62). Entretanto, uma questão pertinente com relação a isto, consiste na existência, ou não, de uma correlação direta entre o vigor das plântulas e o rendimento de grãos.

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, ainda que as plântulas do híbrido tenham sido superiores às plântulas de suas linhagens com relação a várias características, durante esse período. Tais diferenças poderiam, segundo AUSTIN, citado por ALLISON (3), conduzir a grandes diferenciais na produção biológica. Entretanto, observa-se que, por ocasião do florescimento, as diferenças entre as produções da matéria seca total das linhagens e do híbrido eram relativamente pequenas. Este fato pode ser atribuído à competição entre as plantas em condições de campo, que teria limitado a expressão total do potencial do híbrido (ALLISON, 3).

As grandes diferenças entre as produções de grãos do híbrido e das linhagens foram aparentemente causadas por fatores como a capacidade de depósito e a eficiência de translocação de fotoassimilados, que foram significativamente superiores no híbrido, e que se traduzem no maior tamanho das panículas e pelo maior índice de colheita obtido pelo híbrido F_1 , concordando com os resultados obtidos por ALLISON (3) e SINHA & KHANNA (60).

Ainda que o material acumulado pela planta antes do florescimento, apresente uma contribuição relativamente pequena para o rendimento de grãos

(FISCHER & WILSON, 22, 23), o desenvolvimento da planta no período anterior à an^{te}se pode afetar seu potencial de rendimento, conforme demonstraram os trabalhos de DAVIDSON, WOMACK & THURMAN e de BINGHAM, citados por FISCHER & WILSON (22). Segundo aqueles autores, as condições de crescimento nesse período influenciam o rendimento de grãos, não somente através do número de grãos, mas também pela magnitude dos órgãos envolvidos na síntese e no acúmulo da matéria seca dos grãos.

Assim sendo, os resultados indicam que no material avaliado, o vigor híbrido foi resultante de acréscimos na eficiência de produção, translocação e acúmulo dos produtos da fotossíntese de valor econômico, e que atuam durante todo o ciclo vegetativo. Segundo WILLIAMS (74), a heterose e suas expressões associadas, como estabilidade ou homeostase, vigor híbrido, etc, são propriedades de caracteres como rendimento, altura, etc, que por sua vez, resultam de interações entre processos de crescimento consideravelmente mais simples. As explicações pa^{ra} o fenômeno, devem, segundo este autor, ser procuradas através da análise destes processos ou componentes.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado, o presente trabalho permite as seguintes conclusões:

- 5.1. 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. Este fato fica evidente através da análise da distribuição da matéria seca produzida durante o ciclo das plantas, que demonstra a maior eficiência biológica do híbrido na translocação e no acúmulo dos produtos da fotossíntese na panícula, a qual se manifesta pelo maior índice de colheita obtido.
- 5.2. A heterose no rendimento de grãos do híbrido F_1 manifestou-se por acréscimos de 60,79% em relação à média das linhagens progenitoras e de 60,66% em relação ao progenitor superior para esta característica. O vigor híbrido na produção econômica foi decorrente do maior peso de 1000 grãos e do número de grãos por panícula, que também foi superior no híbrido F_1 .

SUMMARY

The object of this study was to determine the occurrence of heterosis in the biological yield of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. One experimental hybrid and its parents (TX 2536 and BTX 399) were evaluated throughout the growing season for the following characteristics: plant height, number of leaves per plant, leaf area index, days to midbloom, dry weight of roots, culms, leaves, heads and total dry weight, grain yield, 1000 seed weight, number of kernels per head, and harvest index. Heterosis was calculated for each trait as percent of the midparent and of the best parent.

The hybrid and its parents were arranged in a split-plot design, four replicates, with sampling dates as main plots and entries as subplots. Plant were pulled from each plot twice weekly until maturity, at 112 days.

The hybrid showed greater vegetative height than its parents throughout the growing season, but this superiority wasn't significant until 56 days after emergence. It had greater leaf area than its parents until flowering. From this point on, both parents either equalled or exceeded the hybrid. The hybrid exceeded each parent in total dry weight throughout the duration of growth, with the differences from 70 days after emergence being significant from the midparent values. From 98 days on the hybrid significantly also exceeded the best parent.

The hybrid outyielded both parents in grain production (60,79% over the midparent and 60,66% 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.

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, out-yielded its parents for grain production. Heterosis for harvest index (27,5% and 19,6% over its midparent and best parent, respectively) reflects the greater biological efficiency of the hybrid. The hybrid averaged 5 and 4 days earlier than

the midparent and the bestparent values, respectively. At flowering the hybrid changed pattern for dry matter accumulation, maintaining the vegetative weight, and continuously increasing the panicle weight.

APÊNDICE

TABELA XI - Apêndice

Resumo da análise de variância dos dados de altura de planta (cm), número de folhas por planta e índice de área foliar de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F₁, em oito épocas de coleta. Pelotas - RS, 1976/77

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS		
		Altura de planta	Nº de folhas por planta	Índice de área foliar
Blocos	3	22,460	0,761	1,799**
Épocas	7	33051,842**	35,039**	67,103**
Erro (a)	21	61,629	0,538	0,410
Cultivares dentro de E ₁	2	2,376	0,090	0,005
Cultivares dentro de E ₂	2	40,090	0,503	0,078
Cultivares dentro de E ₃	2	35,770	0,422	0,640
Cultivares dentro de E ₄	2	62,331*	2,271**	2,542**
Cultivares dentro de E ₅	2	797,616**	0,941*	1,195*
Cultivares dentro de E ₆	2	487,943**	0,973*	1,251**
Cultivares dentro de E ₇	2	772,931**	0,732*	1,566**
Cultivares dentro de E ₈	2	692,108**	0,526	1,572**
Erro (b)	48	48,973	0,208	0,240
		CV (a) = 11,22%	CV (a) = 7,24%	CV (a) = 16,65%
		CV (b) = 6,23%	CV (b) = 4,54%	CV (b) = 12,74%
		Média geral = 69,900	Média geral = 10,130	Média geral = 3,845

*, ** Significativo aos níveis de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

TABELA XII - Apêndice

Resumo da análise de variância dos dados de matéria seca de raízes (W_r), colmos (W_c), folhas (W_f) e de matéria seca total (W_t), em $g.m^{-2}$, de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em oito épocas de coleta. Pelotas - RS, 1976/77.

FV	GL	Q U A D R A D O S M É D I O S			
		Matéria seca de raízes	Matéria seca de colmos	Matéria seca de folhas	Matéria seca total
Blocos	3	2048,849m	9451,501	3841,564	46836,431
Épocas	7	60461,484**	475544,964**	102315,592**	4614779,590**
Erro (a)	21	673,880	3471,976	1889,958	15623,024
Cultivares dentro de E_1	2	0,293	0,315	2,622	7,123
Cultivares dentro de E_2	2	20,290	93,781	154,185	700,102
Cultivares dentro de E_3	2	679,906	346,160	1008,216	5766,278
Cultivares dentro de E_4	2	2158,917**	4857,415	2460,636*	26380,588**
Cultivares dentro de E_5	2	997,849*	12078,583*	1952,303	12869,232
Cultivares dentro de E_6	2	4406,693**	2741,302	468,382	74147,550**
Cultivares dentro de E_7	2	2172,556**	11729,858	2560,136*	111446,448**
Cultivares dentro de E_8	2	1748,620**	1794,338	1482,019	143720,378**
Erro (b)	48	316,162	2783,968	744,402	6060,319
		CV (a) = 25,51%	CV (a) = 23,93%	CV (a) = 29,55%	CV (a) = 16,80%
		CV (b) = 17,48%	CV (b) = 21,43%	CV (b) = 15,85%	CV (b) = 10,46%
		Média Geral=101,748	Média Geral=246,227	Média Geral=147,10	Média Geral=743,825

*, ** Significativo aos níveis de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

TABELA XIII - Apêndice

Resumo da análise da variância dos dados de matéria seca de panículas (W_p), em $g.m^{-2}$, de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 , em quatro épocas de coleta. Pelotas - RS, 1976/77

FV	GL	QM
Blocos	3	4476,571
Épocas	3	897336,558**
Erro (a)	6	6356,243
Cultivares dentro de E_5	2	1623,671
Cultivares dentro de E_6	2	20247,698*
Cultivares dentro de E_7	2	126297,728**
Cultivares dentro de E_8	2	112578,661**
Erro (b)	24	4245,088
CV (a) = 16,16%	CV (b) = 13,21%	Média geral = 493,329

*, ** Significativos aos níveis de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

TABELA XIV - Apêndice

Resumo da análise da variância dos dados de florescimento, em dias para 50% de antese, produção de grãos, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, número de grãos por panícula, peso de 1.000 grãos, em g, e índice de colheita de duas linhagens de sorgo e de seu híbrido F_1 . Pelotas - RS, 1976/77

FV	GL	Q U A D R A D O S M É D I O S				
		Florescimento	Produção de grãos	Número de grãos por panícula	Peso de 1.000 grãos	Índice de colheita
Blocos	3	11,667	64.162,333	34.459,667	4,031	0,0023
Cultivares	2	31,000*	6.999.050,600**	157.501,750*	18,379**	0,0114**
Erro	6	3,667	396.608,583	29.416,083	0,916	0,0007
		CV = 2,57%	CV = 13,89%	CV = 13,53%	CV = 13,53%	CV = 7,81%
		Média Geral = 74,500	Média Geral = 4.532,833	Média Geral = 1.267,500	Média Geral = 26,999	Média Geral = 0,339

*, ** Significativo aos níveis de 5% a 1% de probabilidade, respectivamente

BIBLIOGRAFIA

01. ABIFARIN, A.O. & PICKETT, R.C. Combining ability and heterosis for yield, protein, lysine and certain plant characters in 18 diverse inbreds and 56 hybrids of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. African Soils, Paris, 15: 399-416, 1970.
02. ALLARD, R.W. Princípios do melhoramento genético das plantas. São Paulo, Ed. Edgard Blücher Ltda, 1971. 382p.
03. ALLISON, J.C.S. Analysis of growth and yield of inbred and crossbred maize. Ann. Appl. Biol., London, 68: 81-92, 1971.
04. BABU, A.R. & REDDY, P.R. Rate of dry matter production in different plant parts at various stages of growth in sorghum. The Andhra Agric. J., Hyderabad, 18 (3): 85-90, 1981.
05. BARTEL, A.T. Hybrid vigor in sorghum. Agron. J., Madison, 41(4): 147-52, 1949.
06. BEIL, G.M. & ATKINS, R.E. Estimates of general and specific combining ability in F₁ hybrids for grain yield and its components in grain sorghum, *Sorghum vulgare* Pers. Crop. Sci., Madison, 7: 225-28, 1967.
07. BLUM, A. Nature of heterosis in grain production by the sorghum panicle. Crop Sci., Madison, 10 (1): 28-31, 1970.
08. _____ JORDAN, W.R. & ARKIN, G.T. Sorghum root morphogenesis and growth. II. Manifestation of heterosis. Crop Sci., Madison, 17 (1): 153-7, 1977.
09. BRASIL. Ministério da Agricultura. Equipe Técnica de Sementes e Mudas. Regras para análise de sementes. Rio de Janeiro, ABCAR, 1967. 120p.
10. _____ Ministério da Agricultura. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Boletim Técnico DNPA, nº 30. 1973.
11. BREWBAKER, J.L. Genética na Agricultura. São Paulo, Ed. Polígono, SA., 1969. 224p.

12. BROWER, R. Distribution of dry matter in the plant. Neth. J. Agric. Sci., Wageningen, 10: 361-76, 1961.
13. CHAVDA, D.H. Heterosis among crosses of eight selected parental strains in *Sorghum vulgare* Pers. Diss. Abstr., 26: 4940, 1960.
14. 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., Ottawa, 9: 44-51, 1967.
15. DE SAIBRO, J.C. Influência do índice de área foliar no crescimento de plantas. Turriaba, Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1970. 14 p.
16. DOGGETT, H. Yields of hybrid sorghums. Expl. Agric., London, 5: 1-8. 1969.
17. _____ Sorghum. London, Longmans, Green & Co 1970. 403 p.
18. DONALD, C.M. In search of yield. J. Aust. Inst. Agr. Sci., Parkville, 28: 171-8, 1962.
19. _____ The breeding of crop ideotypes. Euphytica, Wageningen, 17: 385-403, 1968.
20. _____ & HAMBLIN, J. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. Adv. Agron., New York, 28: 361-405, 1976.
21. FAO. Monthly bulletin of statistics. 5(6), June, 1962.
22. FISHER, K.S. & WILSON, G.L. (a). Studies of grain production in *Sorghum vulgare*. I. The contribution of pre-flowering photosynthesis to grain yield. Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 22: 33-8, 1971.
23. _____ (b). Studies of grain production in *Sorghum vulgare*: II. Sites responsible for grain dry matter production during the anti-anthesis period. Aust. J. Agric. Res., Melbourne, 22: 39-47, 1971.
24. GIBSON, P.R. & SCHERTZ, K.F. Growth analysis of a sorghum hybrid and its parents. Crop. Sci., Madison, 17(3): 387-91, 1977.
25. HAYES, H.K. Development of heterosis concept. In: GOWEN, J.W. (ed) Heterosis. New York, Hafner Publ. Co., 1964. p. 49-65.
26. 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., Madison, 6(5): 513-4, 1966.
27. KARPER, R.E. & QUINBY, J.R. Hybrid vigor in sorghum. J. Heredity, Baltimore, 28 83-91, 1937.

28. KIRBY, J.S. & ATKINS, R.E. Heterotic response for vegetative and mature plant characters in grain sorghum, *Sorghum bicolor* (L) Moench. Crop. Sci. Madison, 8: 335-9, 1968.
29. KRISHNAMURTHY, K.; RAJASHEKARA, B.G.; BOMMEGOWDA, A. & VENUGOPAL, N. Comparative growth and yield of sorghum hybrids and its parents. Mysore J. Agric. Sci., Bangalore, 9(4): 596-601, 1975.
30. LAOSUWAN, P. & ATKINS, R.E. Heterosis, inbreeding depression and heritability estimates in a systematic series of sorghum genotypes. Crop. Sci., Madison, 12(4): 409-11, 1972.
31. 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., Madison, 12(4): 409-11, 1972.
32. _____; _____ & _____; CHU, C.C. & LIN, N.S. Leaf blade areas of sorghum varieties and hybrids. Agron. J., Madison, 65(3): 456-9, 1973.
33. LOOMIS, R.S. & WILLIAMS, W.A. Maximum crop productivity: an estimate. Crop. Sci., Madison, 3(1): 67-72, 1963.
34. LOPES, N.F. Análise de crescimento e conversão de energia solar em população de milho (*Zea mays* L.) em Viçosa, MG. Tese M.S. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1973.
35. LOPES, O. Análise de crescimento e conversão da energia solar em dois híbridos de milho (*Zea mays* L.). Tese M.S. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 1976. 50 p.
36. MARTIN, J.H. Plant characters and yield in grain sorghums. J. Am. Soc. Agron., Washington, 20(11): 1177-82, 1928.
37. MAUNDER, A .B. Objectives and approaches to grain and forage sorghum improvement in the Americas. In: RAO, N.G.P. & HOUSE, L.E. (ed). Sorghum in Seventies. New Delhi, Oxford & IBH Publishing CO., 1972. p.
38. _____ Meeting the challenge of sorghum improvement. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, 24th, Chicago, 1969. Proceedings... American Seed Trade Association, 1969. p. 135-51.
39. MILTHORPE, F.L. The relative importance of the different stages of leaf growth in determining the resultant area. In: _____. The growth of leaves. London, Butterworths-Sci., 1956.

40. MOTA, F.S. da. Estudo do clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo o sistema de W. Koeppen. Revista Agronômica, Porto Alegre, (193/3): 132-41, 1953.
41. _____; GARCEZ, J.R.B.; ACOSTA, M.J.C. & BEISDORF, M.I.C. Médias climáticas (1951/1968). Pelotas, R.S., IPEAS, 1971. Mimeografado.
42. NAGUR, T. & MURTHY, K.N. Diallel analyses of heterosis and combining ability in some Indian Sorghums. Indian J. Genet. Plant Breeding, Delhi, 30:26-35, 1970.
43. NIEHAUS, M.N. & PICKETT, R.C. Heterosis and combining ability in a diallel cross in *Sorghum vulgare* Pers. Crop. Sci., Madison, 6(1): 33-6, 1966.
44. PATANOTHAI, A. & ATKINS, R.E. Heterotic response for vegetative growth and fruiting development in grain sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Crop. Sci., Madison, 11(6): 839-43, 1971.
45. PATERNIANI, E. Estudos recentes sobre heterose. Boletim Técnico Carqill, nº 1, São Paulo, 1970.
46. PIMENTEL GOMES, F. Curso de estatística experimental. 6ª ed. Piracicaba, 1976. 436 p.
47. PINTHUS, M.J. & ROSENBLUM, J. Germination and seedling emergence of sorghum at low temperatures. Crop. Sci., Madison, 1 (4): 293-6, 1961.
48. QUINBY, J.R. Manifestations of hybrid vigor in sorghum. Crop. Sci., Madison, 3(4): 288-91, 1963.
49. _____ The maturity genes of sorghum. Adv. Agron., New York, 19: 267-305, 1967.
50. _____ Leaf and panicle size of sorghum parents and hybrids: Crop. Sci., Madison, 10(3): 251-3, 1970.
51. _____ Sorghum improvement and the genetics of growth. College Station Texas A & M University Press, 1974. 108 p.
52. _____ & KARPER, R.E. Heterosis in sorghum resulting from the heterozygous condition of a single gene that effects duration of growth. Amer. J. Botany, Columbus, 33: 716-21, 1946.
53. _____; KRAMER, N.W.; STEPHENS, J.C.; LAHR, K.A. & LARPER, R.E. Grain sorghum production in Texas. Texas Agri. Exp. St. Bull. 912. College Station, 1958.

54. RANGANATHAN, S.R. & RACHE, K.O. Heterosis in growth rates for dry matter production in certain sorghum strains. Madras Agric. J., Madras. 57 (7): 333-7, 1967.
55. RAO, N.G. & MURTY, B.R. Growth analysis in grain sorghums of Deccan. Indian J. Agric. Sci., New Delhi, 33(3): 155-62, 1962.
56. _____ & VENKATESWARLU, J. Heterosis in relation to dry matter production and nutrient uptake. Indian J. Gen. Plant Breed., New Delhi, 31 (1):156-76, 1971.
57. SANTOS FILHO, B.G. Crescimento foliar de quatro cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) nas épocas das "águas" e da "seca" em Viçosa, Minas Gerais. Tese M.S. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1976. 27 p.
58. _____; PETERS, J.A. & MADRUGA, L.A.N. Análise de crescimento em quatro híbridos de sorgo granífero (*S. bicolor* (L.) Moench) em Pelotas, RS. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO GRANÍFERO, VI. Porto Alegre, 1977. Anais... Porto Alegre, Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 1977. p.484-93.
59. SCHULL, G.H. Beginnings of the heterosis concept. In: GOWEN, J.W. (ed.). Heterosis, Ames, Iowa State Univ. Press, 1952. p. 14-48.
60. SINHA, S.K. & KHANNA, R. Physiological, biochemical and genetic basis of heterosis. Adv. Agron., New York, 27: 123-74, 1975.
61. SINGH, I.D. & STOSKOPF, N.C. Harvest index in cereals. Agron. J., Madison, 63 (2): 224-6, 1971.
62. SPRAGUE, G.F. Hybrid vigor and growth rates in a maize cross and its reciprocal. J. Agric. Res., Washington, 53(11): 819-30, 1936.
63. STEPHENS, J.C. & QUINBY, J.R. Bulk emasculation of sorghum flowers. Jour. Amer. Soc. Agron., Madison, 25 233-4, 1933.
64. STICKLER, F.C. & PAULI, A.W. Grain producing value of leaf sheaths in grain sorghums. Agron. J., Madison, 53(5): 352-3, 1961.
65. TARUMOTO, I. & OIZUMI, H. Studies on forage sorghum breeding, I. Heterosis in forage characteristics of F₁ hybrids among morphological types. Jap. J. Breed., Tokyo, 17(2): 137-43, 1967.
66. VANDERLIP, R.K. How a sorghum plant develops. Manhattan, Kansas State University, 1972. 19 p. (Contribution, 1203).

67. VAN DOBBEN, W.H. Influence of temperature and light conditions on dry-matter distribution, development rate and yield in arable crops. Neth. J. Agric. Sci., Wageningen, 10(5): 377-88, 1962.
68. XAVIER, F. E. Análise de crescimento de quatro cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em duas épocas de plantio em Viçosa, Minas Gerais. Tese M.S. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1976. 26 p.
69. YOSHIDA, S. Physiological aspects of crop yield. Ann. Rev. Plant Physiol., Palo Alto, 23: 437-64, 1972.
70. WALLACE, D.H.; OZBUN, J.L. & MUNGER, H.M. Physiological genetics of crop yield. Adv. Agron., New York, 24: 97-146, 1972.
71. WALTON, P.D. Heterosis in spring wheat. Crop. Sci., Madison, 11(3): 422-4, 1971.
72. WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. Adv. Agron., New York, 4: 101-45, 1952.
73. _____ The dependence of net assimilation rate on leaf area index. Ann. Bot. London, 22: 37-54, 1958.
74. WILLIAMS, W. Heterosis and the genetics of complex characters. Nature, London, 184: 527-30, 1959.
75. WITWER, S.H. Maximum production capacity of food crops. Bioscience, Washington, 24: 216-24, 1974.
76. ZIRKLE, C. Early ideas on inbreeding and crossbreeding. In: GOWEN, J.W. (ed.) Heterosis. Ames, Iowa State Univ. Press, 1952. p.1-13.